

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Escuela Técnica Superior
de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR DE INGENIERÍA
DE TELECOMUNICACIÓN

PROYECTO FIN DE CARRERA

SISTEMA PORTÁTIL DE MEDIDA DE
DISPOSITIVOS SOMETIDOS A
ENSAYOS EN CAMPO

Pablo Ramirez Lapausa

Febrero 2014

RESUMEN

SISTEMA PORTÁTIL DE MEDIDA DE

DISPOSITIVOS SOMETIDOS A ENSAYOS EN

CAMPO

El proyecto fin de carrera “Sistema Portátil de Medida de Dispositivos Sometidos a Ensayos en Campo” es un proyecto acometido para el desarrollo y evaluación de un sistema de medición portátil y confiable, que permita la realización de mediciones de curvas I-V en campo, en condiciones reales de funcionamiento.

Dado que la finalidad de este proyecto fin de carrera es la obtención de un sistema para la realización de mediciones en campo, en la implementación del proyecto se tendrán como requisitos principales de diseño el tamaño, la fuente de alimentación, el peso del sistema, además de la fiabilidad y una relativa precisión en la realización de mediciones.

Durante la realización de este proyecto y dados los requerimientos anteriores de portabilidad y fiabilidad, se ha buscado ofrecer una solución de compromiso diseñando un equipamiento que sea realizable, que cumpla con los objetivos anteriores con un coste que no sea elevado y con la característica de que disponga de una facilidad de manejo que permita a cualquier usuario la utilización del mismo.

El sistema final diseñado está basado en el dispositivo de adquisición de datos MyDAQ de National Instruments que permite la realización de múltiples tipos de mediciones. En base a este dispositivo de adquisición de datos, se ha diseñado un sistema de medición con una arquitectura que se implementa a través de un ordenador portátil, con un software de medición instalado que recopila e interpreta los datos, y que alimenta y controla al dispositivo a través del puerto USB. El sistema también implementa una carga variable que permite la medición de la curva I-V en iluminación de células o mini-paneles fotovoltaicos. Este diseño permite que para la realización de las mediciones de las curvas I-V en iluminación en campo sólo se requiera conectar el dispositivo de adquisición a un PC portátil con batería y a la carga variable.

Aunque este diseño es específico para la medición de células solares se ha implementado de forma que pueda extrapolarse fácilmente a otro tipo de medición de tensión y corriente.

Para la comprobación de la precisión del sistema portátil de medidas, durante el proyecto se ha procedido a la comparación de los resultados obtenidos del sistema

RESUMEN

diseñado con un equipo de caracterización en laboratorio. Dicho sistema de alta exactitud permite cuantificar la degradación real de la célula y establecer una comparación de mediciones con el sistema portátil de medida, ofreciendo resultados satisfactorios en todas las mediciones realizadas y permitiendo concluir la evaluación del sistema portátil como apto para las mediciones de dispositivos en campo.

El proceso de evaluación del equipamiento diseñado consistiría en la medida de la curva I-V en laboratorio de un dispositivo fotovoltaico con instrumentación de alta precisión y condiciones controladas de luz y temperatura de un dispositivo, célula o mini-panel. Tras la medida inicial las células se instalarían en campo y se realizaría una caracterización periódica de los dispositivos mediante el sistema portátil de medida, que permitiría evidenciar si en la curva I-V bajo iluminación existe degradación, y en qué zona de la curva. Al finalizar el ensayo o en periodos intermedios se desmontarían los dispositivos para volver a medir la curva I-V con exactitud en laboratorio.

Por tanto el sistema portátil de medida, debe permitir evaluar la evolución de la curva I-V en condiciones ambientales similares a obtenidas en medidas anteriores, y a partir de la misma determinar el modo de degradación del dispositivo, no siendo necesaria una elevada precisión de medida para ofrecer resultados exactos de degradación, que sólo podrán medirse en el laboratorio.

Pablo Ramirez Lapausa.

Madrid a 27 de Enero de 2014.

ABSTRACT

PORTABLE MEASUREMENT SYSTEM FOR DEVICES UNDER FIELD TESTS

The final degree project "Portable Measurement System For Devices Under Field Tests" is a project undertaken for the development and evaluation of portable and reliable measurement equipment, which allows the realization of I-V curve measurements in field conditions actual operation.

Since the purpose of this final project is to obtain a system for conducting field measurements in the implementation of the project will have as main design requirements for size, power supply, system weight, plus reliability and precision relative to the taking of measurements.

During the development of this project and given the above requirements portability and reliability, has sought to offer a compromise designing equipment that is achievable, that meets the above objectives with a cost that is not high and the feature that available management facility that allows any user to use it.

The final system is designed based on the acquisition device MyDAQ NI data that allows the execution of multiple types of measurements. Based on this data acquisition device, we have designed a measurement system with an architecture that is implemented via a laptop, with measurement software installed that collects and interprets data, and feeds and controls the device through the USB port. The system also implements a variable load which allows measurement of the I-V curve lighting photovoltaic cells. This design allows performing measurements of I-V curves in lighting field is only required to connect the device to purchase a laptop with a battery and variable load.

Although this design is specific for the measurement of solar cells has been implemented so that it can easily be extrapolated to other types of measuring voltage and current.

To test the accuracy of the portable measurement system during the project has been carried out to compare the results of the designed system, a team of laboratory characterization. This system of high accuracy to quantify the actual degradation of the cell and a comparison of measurements with portable measurement system, providing satisfactory results in all measurements and allowing complete portable system assessment as suitable for measurements of devices field.

ABSTRACT

The evaluation process designed equipment would be far laboratory I-V curve of a photovoltaic device with high precision instrumentation controlled light and temperature of a device, panel or mini-cell conditions. After initial measurement cells settle in a periodic field and device characterization will be achieved through the portable measurement system, which would show whether the I-V curve under illumination degradation exists, and in which area of the curve. At the end of the trial or in interim periods devices to remeasure the I-V curve accurately in laboratory dismount.

Therefore the portable measurement system should allow evaluating the evolution of the I-V curve similar to previous measurements obtained in ambient conditions, and from it determine the mode of degradation of the device, not a high measurement accuracy to be necessary to provide degradation accurate results, which can only be measured in the laboratory.

Pablo Ramirez Lapausa.

Madrid on January 27, 2014.

INDICE

1. INTRODUCCION	14
2. MODULOS FOTOVOLTAICOS	17
2.1. EFECTO FOTOVOLTAICO.....	17
2.2. CÉLULA SOLAR.....	21
2.2.1. Tipos de células solares	22
2.3. CURVA I-V.....	25
2.4. MEDICIÓN CURVA I-VEN MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	29
3. DESARROLLO DEL SISTEMA PORTATIL DE MEDICION	32
3.1. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE MEDIDAS NI MYDAQ	34
3.1.1. Entradas Analógicas de MyDAQ.....	40
3.1.2. Salidas Analógicas de MyDAQ.....	40
3.1.3. Entradas y salidas Digitales de MyDAQ.....	40
3.1.4. Fuentes de alimentación	40
3.1.5. Multímetro Digital.....	41
3.1.6. Sustitución del fusible en NI MyDAQ	41
3.1.7. Especificaciones del NI MyDAQ:	43
3.1.7.1. Entrada Analógica	44
3.1.7.2. Salida Analógica	45
3.1.7.3. Entradas/Salidas Digitales.....	46
3.1.7.4. Contador de propósito general.....	46
3.1.7.5. Multímetro digital.....	47
3.1.7.6. Fuentes de alimentación:.....	50

3.1.7.7. Especificaciones Técnicas.....	51
3.2. SISTEMA DE CONTROL.....	52
3.2.1. <i>National Instruments ELVSmx</i>	53
3.2.1.1. Multímetro Digital (DMM)	54
3.2.1.2. Osciloscopio (Scope)	56
3.2.1.3. NI ELVSmx FGEN	58
3.2.1.4. Fuente de alimentación variable (VPS)	60
3.2.1.5. Analizador de Bode (Bode)	60
3.2.1.6. Dynamic Signal Analyzer (DSA)	62
3.2.1.7. Generador de onda arbitraria (ARB)	63
3.2.1.8. Lector Digital (DigIn)	65
3.2.1.9. Escritor Digital (DigOut)	66
3.2.1.10. Analizador de impedancia (impedancia).....	69
3.2.1.11. Analizador de dos hilos de corriente-voltaje (2 cables)	69
3.2.1.12. Analizador de tres hilos corriente-voltaje (3 cables).....	69
3.2.2. <i>National Instruments LabVIEW software gráfico de desarrollo</i>	70
3.2.2.1. El Panel Frontal:	72
3.2.2.2. Diagrama de Bloques:	74
3.2.2.3. Uso de Labview para la toma de medidas	76
3.2.2.4. Requerimientos del sistema para el uso de LabVIEW	77
3.3. SISTEMA DE CARGA.....	80
3.4. MINI-MÓDULO FOTOVOLTAICO	83
3.4.1. <i>Especificaciones Técnicas de la célula solar utilizada</i>	84

3.5. FOCO HALÓGENO UTILIZADO	85
4. IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE MEDICION	87
4.1. PROGRAMA DE MEDICIÓN DISEÑADO EN LABVIEW	87
4.2. CONEXIONADO DE ELEMENTOS	96
5. DESARROLLO DE LA FASE DE MEDICIONES.....	101
5.1. MEDICIÓN CÉLULA VENTILADA	103
5.2. MEDICIÓN CÉLULA TEMPERATURA AMBIENTE:	105
5.3. MEDICIÓN CÉLULA TEMPERATURA SOBRECALENTADA:	106
5.4. COMPARATIVA MEDICIONES CÉLULAS A DISTINTA TEMPERATURA	108
6. MEDICION CURVAS I-V CON EQUIPAMIENTO DE CARACTERIZACIÓN DE SEMICONDUCTORES	110
6.1. EQUIPAMIENTO DE LABORATORIO KEITHLEY 2601.....	110
6.1.1. Especificaciones técnicas Keithley 2601	114
6.2. PROGRAMA TEST SCRIPT BUILDER KEITHLEY	118
6.2.1. Instrucciones del software.....	119
6.3. CONEXIONADO DE ELEMENTOS	121
6.4. OBTENCIÓN DE MEDICIONES.....	122
6.4.1. Medición Célula Ventilada.....	122
6.4.2. Medición Célula Temperatura Ambiente:.....	124
6.4.3. Medición Célula Temperatura Sobrecalentada:.....	127
7. COMPARATIVA Y VALIDACION DE MEDICIONES	130
7.1.1. Comparativa mediciones Célula Ventilada.....	131
7.1.2. Comparativa mediciones Célula a Temperatura Ambiente.....	133
7.1.3. Comparativa mediciones sobre Célula Sobrecalentada	135

7.1.4. Conclusiones de la comparación de medidas.	136
7.1.5. Comparativa mediciones sobre Célula Sobrecalentada en dos instantes del ensayo de envejecimiento.	136
8. CONCLUSIONES	141
9. PRESUPUESTO	143
10. MANUAL DE USUARIO	145
11. BIBLIOGRAFIA.....	148

Ilustraciones

Ilustración 1: Panel Fotovoltaico.....	17
Ilustración 2: Efecto Fotoeléctrico	18
Ilustración 3: Mini-panel Solar, formado por 8 células de silicio en serie.....	22
Ilustración 4: Célula de silicio policristalino	24
Ilustración 5: Curva I-V de una célula solar	26
Ilustración 6: Especiaciones Curva I-V	28
Ilustración 7: Diagrama de Bloques	33
Ilustración 8: Dispositivo NI MyDAQ.....	34
Ilustración 9: Conexionado NI MyDAQ	35
Ilustración 10: Esquema de componentes NI MyDAQ.....	36
Ilustración 11: Entradas y Salidas NI MyDAQ.....	37
Ilustración 12: Conexiones Multímetro NI MyDAQ.....	39
Ilustración 13: Interior NI MYDAQ	43
Ilustración 14: Programa NI ELVISmx Instrument Launcher	53
Ilustración 15: Subprogramas ELVISmx.....	54
Ilustración 16: Multímetro digital	55
Ilustración 17: Conexión Multímetro medición voltaje	56
Ilustración 18: Conexión Multímetro medición corriente.....	56
Ilustración 19: Función Osciloscopio.....	57
Ilustración 20: Generador de funciones.....	59
Ilustración 21: Analizador Bode	61

Ilustración 22: Dynamic Signal Analyzer	62
Ilustración 23: Generador de onda arbitraria	64
Ilustración 24: Lector Digital	65
Ilustración 25: Escritor Digital	67
Ilustración 26: Labview 2012	70
Ilustración 27: Creación de un programa con Labview	71
Ilustración 28: Panel de Control Labview.....	73
Ilustración 29: Tipos de funciones a implementar en LabVIEW.....	74
Ilustración 30: Diagrama de Bloques LabVIEW	75
Ilustración 31: Arquitectura de la carga variable	83
Ilustración 32: Foco Halógeno.....	85
Ilustración 33: Programa diseñado en LabVIEW	89
Ilustración 34: Aviso del cambio de resistencia	90
Ilustración 35: Mensaje de inicio de medición.....	91
Ilustración 36: Sección de programa dedicada a la obtencion de medidas	91
Ilustración 37: VI medición de tensión.....	92
Ilustración 38: Bucle de medidas	93
Ilustración 39: VI medición de corriente	94
Ilustración 40: VI que extrae los resultados obtenidos.....	95
Ilustración 41: Presentación de resultados programa LabVIEW	95
Ilustración 42: Conexionado medición MyDAQ	97
Ilustración 43: Conexionado DMM medición MyDAQ.....	97

Ilustración 44: Conexión de medición.....	98
Ilustración 45: Conexión de carga variable y célula solar para medición con MyDAQ.....	99
Ilustración 46: Banco de mediciones mini-módulos solares.....	102
Ilustración 47: Curva I-V Célula Ventilada medida con MyDAQ.....	103
Ilustración 48: Curva I-V Célula a Temperatura Ambiente medida con MyDAQ	105
Ilustración 49: Curva I-V Célula a Temperatura Sobrecalentada medida con MyDAQ.....	107
Ilustración 50: Equipo Keithley 2601.....	111
Ilustración 51: Ciclos de operación Keithley	114
Ilustración 52: Programa Test Script Builder de Keithley.....	119
Ilustración 53: Creación de un proyecto con programa Test Script Builder	120
Ilustración 54: Programa diseñado en TSB para medición con equipo Keithley.....	120
Ilustración 55: Obtención de mediciones con TSB.....	122
Ilustración 56: Curva I-V Célula Ventilada medida con Keithley 2601	123
Ilustración 57: Curva I-V Célula a Temperatura Ambiente medida con Keithley 2601.....	125
Ilustración 58: Curva I-V Célula sobrecalentada medida con Keithley 2601.....	127
Ilustración 59: Comparativa Curvas I-V Célula Ventilada.....	131
Ilustración 60: Comparativa Curva I-V Célula Temperatura a Ambiente	133
Ilustración 61: Comparativa Curvas I-V Celula Sobrecalentada	135
Ilustración 62: Medición célula sobrecalentada realizada con fecha 16/12/2013	137
Ilustración 63: Medición célula sobrecalentada realizada con fecha 20/01/2014	138

Tablas

Tabla 1: Conexiones MyDAQ.....	38
Tabla 2: Conexiones Multímetro Digital.....	39
Tabla 3: Precisión Voltímetro MyDAQ	49
Tabla 4: Precisión Amperímetro MyDAQ.....	49
Tabla 5: Precisión medición de resistencias MyDAQ	50
Tabla 6: Especificaciones LabVIEW para SO Windows.....	78
Tabla 7: Especificaciones LabVIEW para MAC OS X	79
Tabla 8: Especificaciones LabVIEW para SO Linux.....	80
Tabla 9: Posiciones Carga Variable.....	82
Tabla 10: Valores Curva I-V Célula Ventilada medida con MyDAQ.....	104
Tabla 11: Valores Curva I-V Célula Temperatura Ambiente medida con MyDAQ	106
Tabla 12: Valores Curva I-V Célula Sobrecalentada medida con MyDAQ	108
Tabla 13: Precisión tensión fuente alimentación Keithley 2601	115
Tabla 14: Precisión corriente fuente de alimentación Keithley 2601	115
Tabla 15: Precisión medición tensión Keithley 2601.....	116
Tabla 16: Precisión medición corriente Keithley 2601.....	117
Tabla 17: Precisión medición resistencia Keithley 2601	118
Tabla 18: Valores Curva I-V Célula Ventilada medida con Keithley 2601	124
Tabla 19: Valores Curva I-V Célula Ventilada medida con Keithley 2601	126
Tabla 20: Valores Curva I-V Célula Sobrecalentada medida con Keithley 2601.....	128
Tabla 21: Comparativa curvas I-V Célula Ventilada.....	132

Tabla 22: Comparativa curvas I-V Célula Temperatura Ambiente	134
Tabla 23: Comparativa curvas I-V Célula Sobrecalentada.....	136
Tabla 24: Comparativa degradación célula sobrecalentada	139
Tabla 25: Presupuesto sistema portátil de medición.....	143

1. INTRODUCCION

En la actualidad existen dos de tipos de ensayos de pruebas de fiabilidad para testeo de componentes, ensayos de vida acelerada en laboratorio en los que se testean los componentes forzando una serie de condiciones estresantes de funcionamiento, y ensayos en campo en situaciones reales y que deben realizarse durante un periodo de tiempo muy prolongado para poder obtener resultados tangibles.

Los beneficios de realizar ensayos acelerados es que ofrecen resultados de fiabilidad en un corto periodo de tiempo, que en algunos casos pueden llegar a semanas, pero a la hora de testear componentes estos no pueden ser los únicos ensayos de fiabilidad que se realicen sobre los mismos, sino que es necesario complementarlos y contrastarlos con los ensayos obtenidos mediante medidas en campo y en condiciones reales de funcionamiento que ofrecen mediciones de mayor fiabilidad, y en donde se evita la introducción de modos de fallo artificiales que pueden producirse en el ensayo acelerado.

El inconveniente de los ensayos en campo es que como su propio nombre indica han de realizarse en campo y en el caso concreto de los ensayos en células y paneles solares fotovoltaicos, al encontrarse los mismos en instalaciones exteriores de difícil acceso, se hace imprescindible disponer de una instrumentación portátil, relativamente precisa y de bajo costo, que permita realizar un seguimiento del ensayo en campo con un sistema de precisión y exactitud adecuadas, aunque en cualquier caso inferiores a la exactitud y precisión que se obtienen con un equipo de caracterización de semiconductores en las condiciones ideales del laboratorio.

Dadas unas necesidades de mediciones fiables sobre paneles y células fotovoltaicas en campo, el objetivo de este Proyecto Fin de Carrera (PFC) es el de proceder al estudio y cualificación, de un sistema de instrumentación portátil, que permita por un lado la medida de dispositivos en campo con una precisión y exactitud lo más próxima posible a los equipos de medida de laboratorio, y por otro lado que consista en un sistema portátil fácilmente transportable por el técnico que realice las mediciones y almacene los datos obtenidos para su posterior estudio.

Durante el desarrollo de este PFC, se estudiara e implementará un sistema portátil de mediciones de mantenimiento de calidad (curva I-V en iluminación) de dispositivos fotovoltaicos (células o mini-paneles), y se realizaran sobre el mismo las comprobaciones y mediciones necesarias, que permitan poder verificar la calidad de la instrumentación

portátil para su uso en las mediciones de campo para el estudio de degradación y fiabilidad en campo de los paneles fotovoltaicos formados por células o mini-paneles que se medirían.

La tensión que permite medir el equipamiento MyDAQ está limitada a 10V, disponiendo también de un nivel de medida de corriente limitado, por lo que no permite la realización de mediciones sobre paneles convencionales de 48V, permitiendo no obstante la medición de la curva I-V en iluminación de submódulos, ya sea con células multiunión, o con células de silicio.

Aunque la idea original del PFC era que se realizase en paralelo con la instalación, en la azotea de la escuela del campus sur, de un conjunto de 20 mini-módulos que someteríamos en ensayo con iluminación solar, y sobre los que se iría midiendo la curva I-V con el sistema portátil para comprobar su utilidad, finalmente en dicho PFC se optó por montar un sistema de ensayo de degradación con iluminación artificial de tres mini-módulos de silicio, cada uno de ellos con una condiciones térmicas diferenciadas, sobre los que se pudieran realizar también medidas con un sistema fuente-medidora (source-meter) de caracterización de semiconductores de la marca Keithley y poder así comparar estas medidas con el sistema de medida portátil diseñado en el PFC a partir de cierto momento del ensayo, para establecer una comparativa de resultados. Las medidas que se mostrarán comparando ambos sistemas de medida serán sobre los tres mini-módulos sometidos a ensayo de degradación con una luz halógena.

Como hemos indicado el objetivo de este PFC es el estudio e implementación de un sistema de medida portátil que permita las mediciones en campo de la curva I-V y los parámetros característicos de los dispositivos fotovoltaicos que se pueden extraer de esta curva, pero antes haremos en una breve introducción de las bases en las que se sustentan las necesidades de realizar estas mediciones y los elementos sobre las que se realizaran las mismas como son los mini-panes fotovoltaicos.

2. MODULOS FOTOVOLTAICOS

Un módulo o panel fotovoltaico es un dispositivo compuesto por células solares que permite la obtención de energía eléctrica, a partir de la radiación solar, mediante el efecto fotoeléctrico.

A continuación se puede observar una imagen de un panel fotovoltaico instalado en el Campus Sur de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicaciones de la Universidad Politécnica de Madrid:



Ilustración 1: Panel Fotovoltaico

2.1. Efecto Fotovoltaico

El efecto fotoeléctrico consiste en la emisión de electrones por un material cuando se hace incidir sobre él una radiación electromagnética. Los fotones incidentes en el material son absorbidos por los electrones del medio dotándoles de energía suficiente para escapar de éste. Este efecto permite el funcionamiento de los módulos fotovoltaicos y por tanto la obtención de energía a través de los mismos.

El efecto fotoeléctrico fue descubierto y descrito por Heinrich Hertz en 1887, al observar que el arco voltaico que aparece entre dos electrodos conectados a alta tensión alcanza distancias mayores cuando este se ilumina con luz ultravioleta que cuando se deja en la oscuridad.

Posteriormente en 1905 Albert Einstein enunció la explicación teórica del efecto fotoeléctrico en el artículo "Heurística de la generación y conversión de la luz", basando su formulación de la fotoelectricidad en una extensión del trabajo sobre los cuantos de Max Planck.

Pese a que su descubrimiento se produjo a principios de siglo, el verdadero desarrollo de la energía solar fotovoltaica llegó en el año 1954 cuando los Laboratorios Bell, descubrieron de manera accidental, que los semiconductores de silicio dopados con ciertas impurezas eran muy sensibles a la luz. Este hecho comenzó el desarrollo de una serie de experimentos que permitieron el posterior desarrollo de obtención de energía eléctrica mediante módulos fotovoltaicos a partir efecto fotoeléctrico.

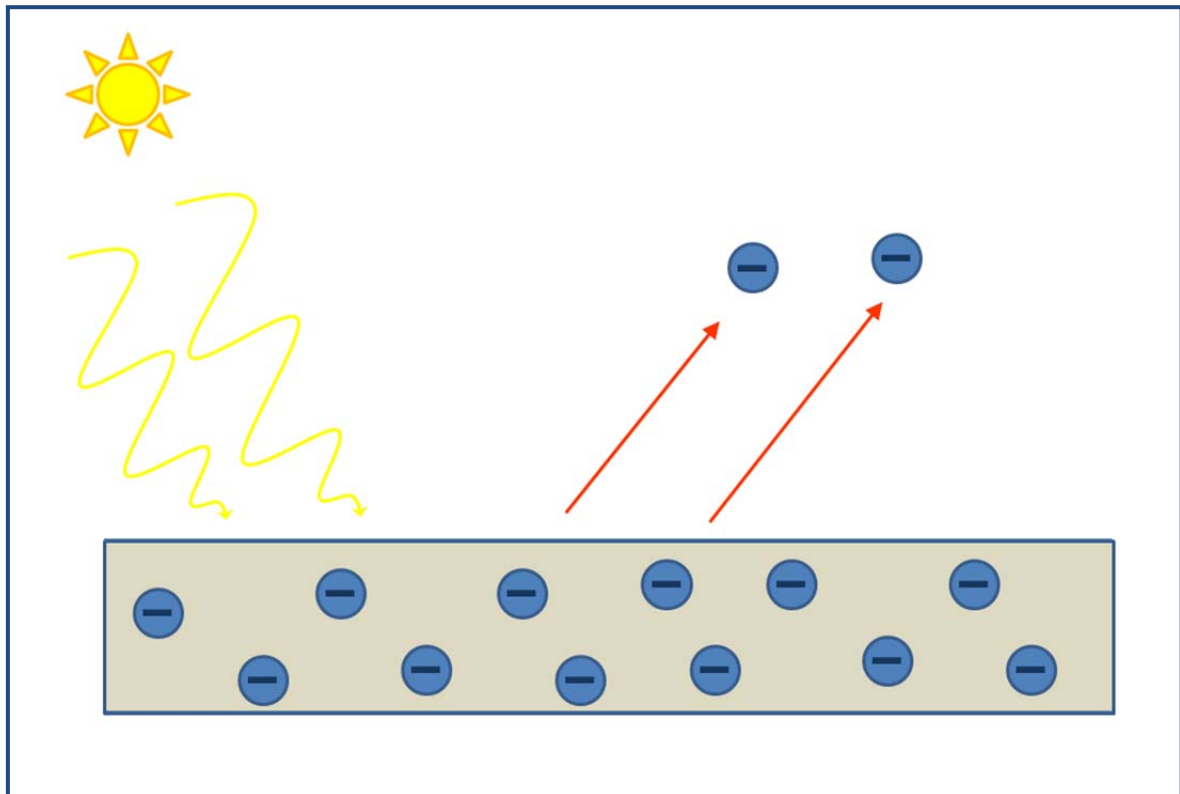


Ilustración 2: Efecto Fotoeléctrico

La incidencia de fotones sobre un material dopado tipo P-N genera los pares electrón-hueco en el material expuesto, debido a que el fotón al incidir sobre el mismo rompe el enlace existente. Por otro lado debido al campo eléctrico producido por la unión de materiales en la célula de tipo P y N, al separarse el par electrón-hueco este campo impide que puedan volver a recombinarse. Gracias a estos efectos de forma conjunta se genera la corriente eléctrica que circula por módulo y la carga aplicada.

No todos los fotones incidentes sobre el material fotovoltaico cumplen las condiciones para poder ser aprovechados para la creación de energía, perdiéndose para la generación de electricidad los fotones que tienen una energía asociada inferior al ancho de la banda prohibida del semiconductor. Estos fotones atraviesan el semiconductor sin ceder su energía y por tanto no crean los pares electrón-hueco.

También, por características del propio material con el que se construyen los módulos fotovoltaicos es posible que no puedan absorber todos los fotones incidentes aunque estos tengan una energía mayor al ancho de banda prohibida.

Finalmente indicar por último que es necesario tener en cuenta que una cantidad no despreciable de los fotones incidentes son reflejados en la superficie de la célula.

Una vez generados los electrones y los huecos estos deben de avanzar generando una corriente en lugar de recombinarse de nuevo y es precisamente este avance el que produce una diferencia de potencial y por tanto tensión entre las dos partes del material.

Para conseguir esta generación de corriente, se crea un campo eléctrico permanente, a través de una unión P-N, entre dos capas de material dopadas respectivamente.

Normalmente en este material la capa superior del mismo se compone de silicio dopado de tipo (N). En esta capa, hay un número de electrones libres mayor que una capa de silicio puro, de ahí el nombre del dopaje (N), como carga negativa (electrones). El material permanece eléctricamente neutro y es la red cristalina quien tiene globalmente una carga negativa.

Por otro lado la capa inferior del material se compone de silicio dopado de tipo (P). Esta capa tiene por lo tanto una cantidad media de electrones libres menor que una capa de silicio puro, los electrones están ligados a la red cristalina que, en consecuencia, está cargada positivamente. La conducción eléctrica está asegurada por los huecos, positivos (P).

En el momento de la creación de la unión P-N, los electrones libres de la capa (N) entran en la capa (P) y se recombinan con los huecos en la región (P). Existirá así durante toda la vida de la unión, una carga positiva en la región (N) a lo largo de la unión, porque faltan electrones, y una carga negativa en la región en (P) a lo largo de la unión, porque los huecos han desaparecido. Existe un campo eléctrico entre las dos, de (N) hacia (P). Este campo eléctrico hace que solo se permita el flujo de corriente en una dirección, pues

los electrones pueden moverse de la región (P) a la (N), pero no en la dirección opuesta y por el contrario los huecos no pasan más que de (N) hacia (P).

El funcionamiento puede resumirse de forma más sencilla de la siguiente manera: Cuando un fotón con la energía adecuada, incide sobre el material arranca un electrón al mismo, creando un electrón libre y un hueco. Gracias al efecto del campo eléctrico creado por el material P-N, tanto el electrón como el hueco se mueven en direcciones opuestas, los electrones se acumulan en la región (N), para convertirse en polo negativo, mientras que los huecos se acumulan en la región dopada (P), que se convierte en el polo positivo.

Cuando un fotón crea un par electrón-hueco, es improbable que encuentren a su opuesto, pero si la creación tiene lugar en un sitio más alejado de la unión, el electrón, convertido en hueco, mantiene una gran probabilidad para recombinarse antes de llegar a la zona (N).

Como resumen se puede indicar que la creación de esta estructura es el equivalente de un generador de corriente al que se ha añadido un diodo y se denomina célula fotoeléctrica.

Para que se produzca la máxima potencia se construyen los semiconductores en la banda prohibida a nivel de energía de los fotones. También es posible aumentar las uniones a fin de explotar al máximo el espectro de energía de los fotones, lo que produce las células multiunión.

Para el encapsulado final y producir las células fotovoltaicas que a partir de este efecto producirán energía eléctrica se añadirán en su construcción contactos metálicos en forma de rejilla que permitirán pasar la luz y conducirán la electricidad y también se le añadirá una fina capa de un material protector pero anti reflectante que permitirá la máxima absorción de fotones.

Si se agrupan las células fotoeléctricas para generar energía se forma un panel fotovoltaico. Los paneles fotovoltaicos consisten en una red de células solares conectadas entre sí para generar una tensión de salida (12V, 24V o 48V). Estos pueden conectarse en circuito paralelo para aumentar la corriente eléctrica que es capaz de proporcionar el dispositivo.

2.2. Célula Solar

Una célula solar es el dispositivo mínimo capaz de convertir la energía proveniente de la radiación solar en energía eléctrica.

La primera célula solar fue construida en 1883 por Charles Fritts, quien recubrió una muestra de selenio con oro. Este primer dispositivo fotovoltaico presentaba una eficiencia de sólo un 1%. Posteriormente fue Russell Ohl quien diseñó y patentó la célula solar moderna en el año 1946.

La composición actual de los materiales que componen una célula solar en la actualidad suele ser principalmente de silicio cristalino. Consisten en una simple capa con unión diodo P-N, capaz de generar energía eléctrica a partir de la radiación recibida de fuentes de luz con longitudes de onda similares a las provenientes del Sol.

La eficiencia obtenida actualmente por las células comerciales, producidas a partir de silicio cristalino, se encuentran alrededor del 14%, variando según la tecnología utilizada desde el 6% de las células de silicio amorfo hasta el 14-22% de las células de silicio monocristalino. También existen Las células multicapa, normalmente de arseniuro de galio, que alcanzan eficiencias de hasta el 30%.

Actualmente, esta es la tecnología dominante en la producción comercial aunque se están desarrollando muy rápidamente estudios para la implementación de células solares con mayor rendimiento, encontrándose en pruebas de laboratorio células fotovoltaicas multiunión con eficiencias del 43% en nuevos paneles experimentales.

La vida útil media a máximo rendimiento de una célula solar de construcción actual se sitúa en torno a los 25 años, período a partir del cual la potencia entregada comienza a disminuir por debajo de un valor considerable. Este hecho hace que sea necesario monitorizar el comportamiento de los módulos fotovoltaicos en el tiempo estudiando así su rendimiento a lo largo del tiempo.

El principio básico de funcionamiento de una célula solar consiste en la generación de una diferencia de potencial cuando esta se encuentra conectada a una carga y está siendo iluminada por una radiación solar. Esta diferencia de potencial en los extremos de la carga hace circular por la misma una corriente debido al principio del efecto fotovoltaico.

A continuación se puede observar una imagen de un mini-panel solar de silicio policristalino:

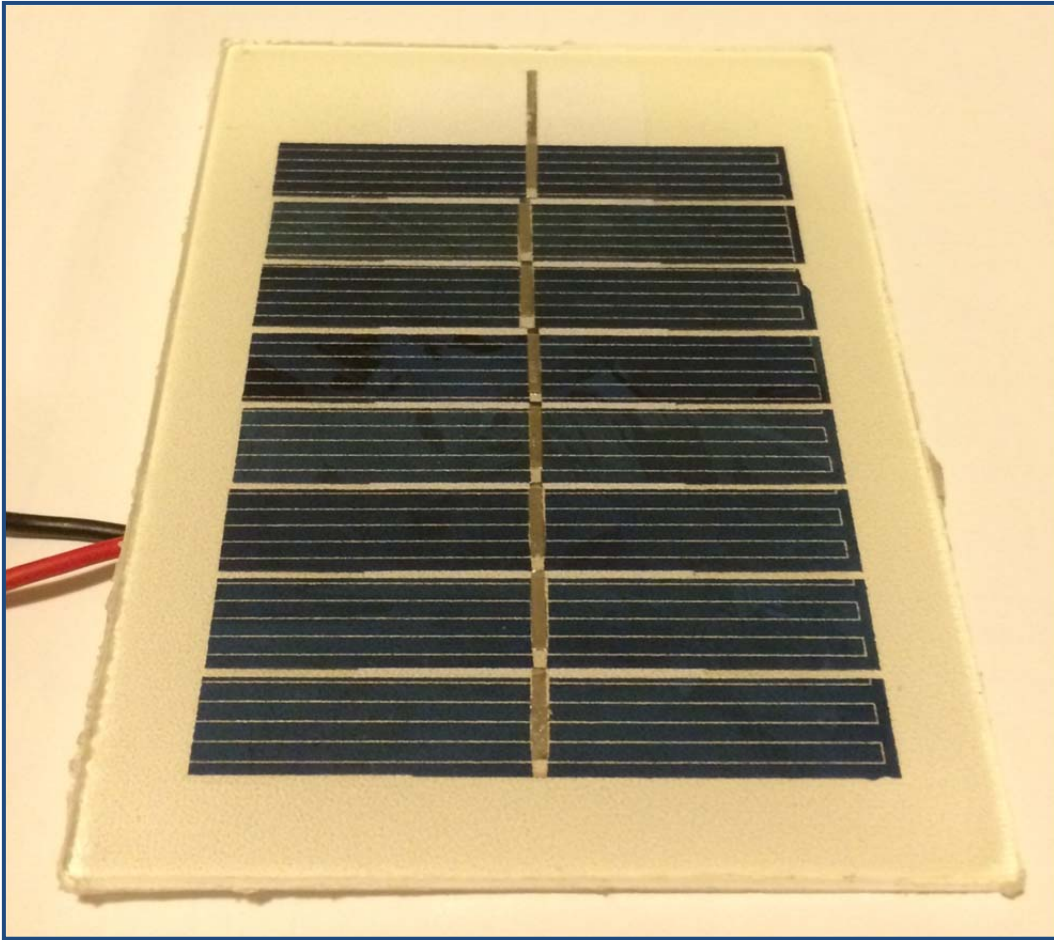


Ilustración 3: Mini-panel Solar, formado por 8 células de silicio en serie.

La corriente entregada a una carga por una célula solar es el resultado neto de dos corrientes internas que se oponen y que son:

- ✓ Corriente de iluminación: Corriente debida a la generación de portadores que produce la iluminación.
- ✓ Corriente de oscuridad: Corriente debida a la recombinación de portadores que produce el voltaje externo necesario para poder entregar energía a la carga.

2.2.1. Tipos de células solares

A continuación se hace una breve descripción de los diferentes tipos de células solares existentes en la actualidad:

- ✓ ***Células de silicio amorfo***

Estas células fueron las primeras en ser manufacturadas, ya que se podían emplear los mismos métodos de fabricación de diodos y su fabricación era relativamente sencilla. Su rasgo más característico es que el silicio durante su transformación, produce un gas que se proyecta sobre la lámina de vidrio obteniéndose una celda color gris oscuro.

Este tipo de células tienen como ventajas el tener un bajo coste de producción y también que funcionan con una luz difusa y baja e incluso en días nublados con poca radiación solar, pero como desventaja disponen un rendimiento muy bajo de en torno al 6 % y decreciente con el tiempo.

✓ ***Célula de silicio monocristalino***

Estas células generalmente son de un azul uniforme debido a que al enfriarse, el silicio fundido se solidifica formando solo un único cristal de grandes dimensiones que luego se corta en delgadas capas.

Tienen mejor rendimiento de entorno al 14% y es la tecnología más implementada debido al rendimiento de que disponen con el inconveniente de un coste de fabricación más elevado que la anterior.

✓ ***Células de silicio policristalino***

Las células basadas en silicio policristalino se denominan así debido a que en el proceso de fabricación, durante el enfriamiento del silicio en un molde, se forman varios cristales de forma aleatoria. La fotocélula es de aspecto azulado, pero no es uniforme, se distinguen diferentes colores creados por los diferentes cristales.

La principal ventaja de este tipo de células de silicio policristalino es que son más económicas de producir que las de silicio monocristalino. Otra ventaja es que se implementan mejor en los módulos fotovoltaicos por su construcción y tienen una eficiencia de conversión óptima.

Su principal inconveniente es que tienen un rendimiento menor que las células de silicio monocristalino y un también disponen de un bajo rendimiento en condiciones de iluminación baja.

Este tipo de células son las más implementadas actualmente debido principalmente a los rendimientos que alcanzan y a su mayor facilidad de implementación en módulos fotovoltaicos.

A continuación se muestra una imagen de un mini-panel de silicio policristalino donde se pueden observar los diferentes cristales que forman cada una de las 8 células conectadas en serie.

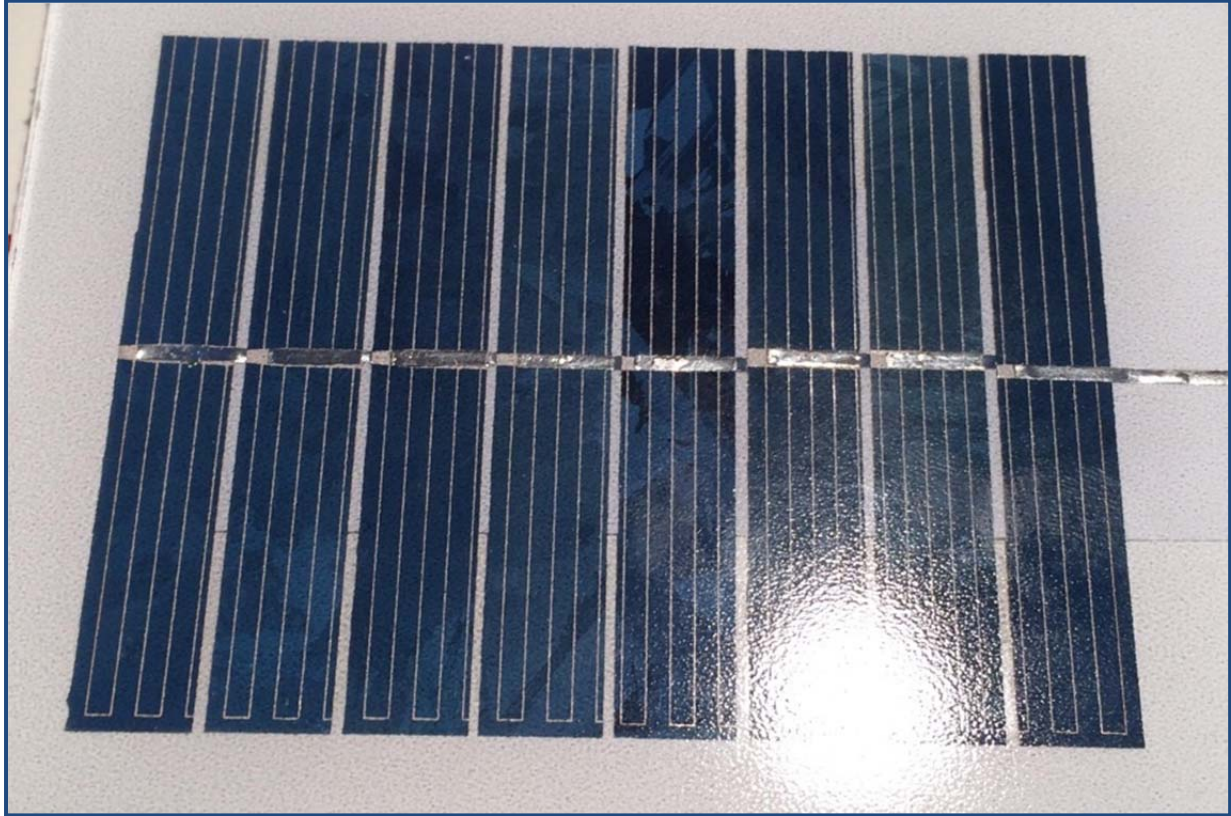


Ilustración 4: Célula de silicio policristalino

✓ ***Célula dobles***

Consisten en el acoplamiento de forma consecutiva de dos células individuales de diferente tipo. Mediante esta combinación de dos células se optimiza el espectro que puede recibir la célula al mismo tiempo pues se solapan, mejorando el rendimiento en comparación con las células individuales separadas, sean amorfas, cristalinas o policristalinas.

Como ventaja tienen una alta sensibilidad en un amplio rango de longitudes de onda y un excelente rendimiento, pero con el inconveniente de alto costo debido a la superposición de dos células.

✓ ***Célula multiunión***

Estas células tienen una alta eficiencia y han sido desarrolladas para aplicaciones espaciales. Las células multifunción están compuestas de varias capas delgadas. Se componen de semiconductores GaAs, Ge y GaInP2 de forma que absorban la mayoría del espectro solar, generando un máximo de electricidad a partir del flujo solar. Los dispositivos de células de uniones múltiples GaAs son más eficaces, obteniendo rendimientos del 40% de eficiencia.

2.3. Curva I-V

La vida media actual de los paneles fotovoltaicos va desde los 20 hasta los 30 años dependiendo de los materiales empleados en su construcción como son, la técnica de depósito, el tipo de encapsulado, las condiciones donde estén expuestos dichos paneles, la cantidad de radiación solar y la temperatura a la que se encuentren entre otros factores.

La curva característica de un panel fotovoltaico se denomina curva de intensidad-voltaje y representa los valores de tensión y corriente medidos en un panel fotovoltaico sometido a unas determinadas condiciones de insolación, temperatura y con una determinada carga conectada al mismo.

La forma más estándar de realizar una caracterización eléctrica de un módulo fotovoltaico y por tanto observar la degradación del mismo es la comparativa de las curvas I-V realizadas sobre el mismo.

Esta curva es única en cada módulo y depende por tanto del módulo y de las condiciones a las que se encuentra sometido el mismo.

Para realizar una medición de una curva I-V en un módulo fotovoltaico únicamente es necesario conectar el aparato con el que se quiere realizar la medición al módulo fotovoltaico e ir variando una resistencia externa desde cero a infinito, midiéndose así diversos valores que forman la curva característica.

A continuación se muestra una gráfica con una curva I-V típica de un mini-módulo fotovoltaico:

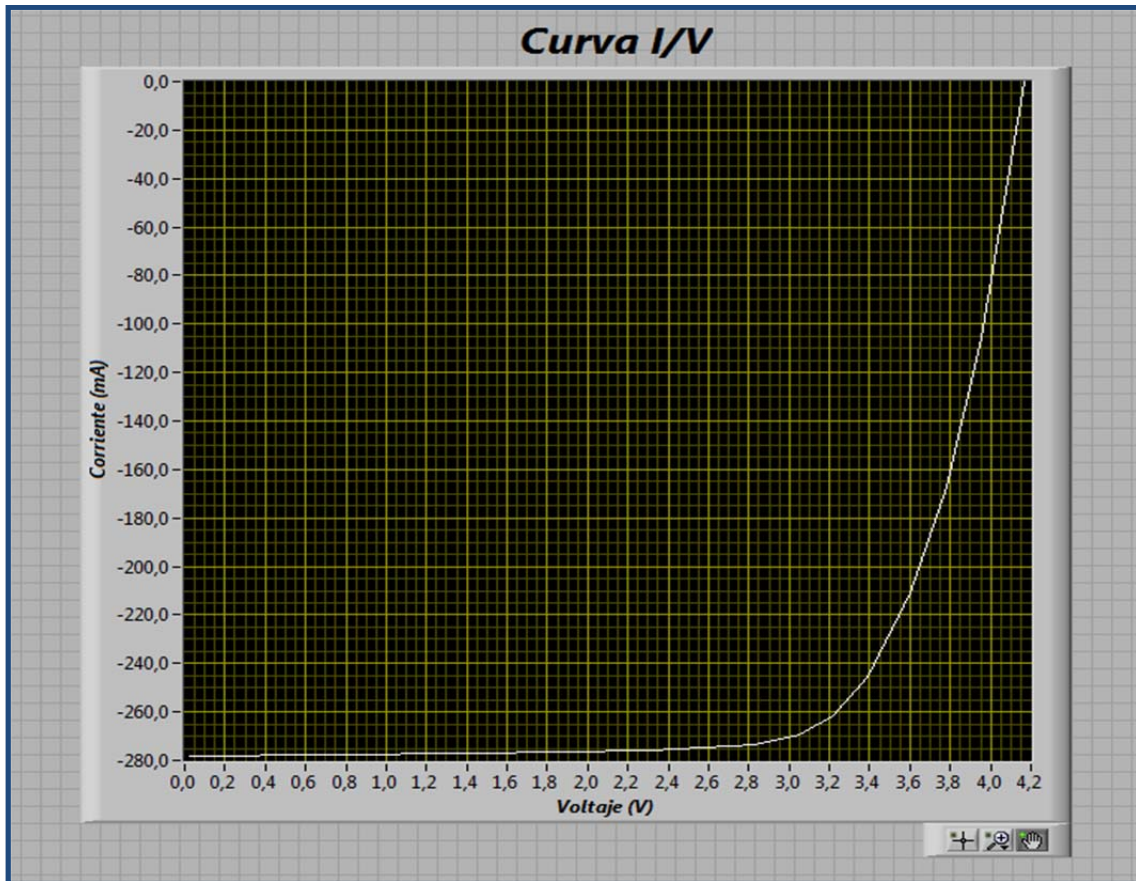


Ilustración 5: Curva I-V de una célula solar

Como se puede apreciar en la imagen anterior la corriente de salida se mantiene prácticamente constante dentro del rango de tensión de operación y, por lo tanto el dispositivo se puede considerar como una fuente de corriente constante en este rango. A partir de un determinado punto de máxima potencia la corriente comienza a disminuir (se reduce el valor negativo de la corriente) de forma exponencial.

Los valores más importantes que se pueden obtener de esta curva son:

✓ **Corriente de cortocircuito (I_{cc}):**

Máxima corriente que puede entregar un dispositivo bajo condiciones determinadas de radiación y temperatura, y que se corresponden con una tensión nula y consecuentemente con una potencia nula.

✓ **Tensión de circuito abierto (V_{ca}):**

Máxima tensión que puede entregar un dispositivo bajo condiciones determinadas de radiación y temperatura, y que se corresponden con una circulación de corriente nula y consecuentemente con una potencia nula.

✓ ***Punto de Máxima Potencia (PMP):***

Es el máximo valor de potencia que puede entregar el dispositivo. Corresponde al punto de la curva en el cual el producto de la tensión por la corriente es máximo.

✓ ***Factor de forma (FF):***

Se define como el cociente de potencia máxima que se puede entregar a una carga entre el producto de la tensión de circuito abierto y la intensidad de cortocircuito.

✓ ***Corriente a máxima potencia (I_{mp}):***

Corriente que entrega el dispositivo a potencia máxima bajo condiciones determinadas de radiación y temperatura. Se la utiliza como corriente nominal del mismo.

✓ ***Tensión a máxima potencia (V_{mp}):***

Tensión que entrega el dispositivo a potencia máxima bajo condiciones determinadas de radiación y temperatura. Se la utiliza como tensión nominal del mismo.

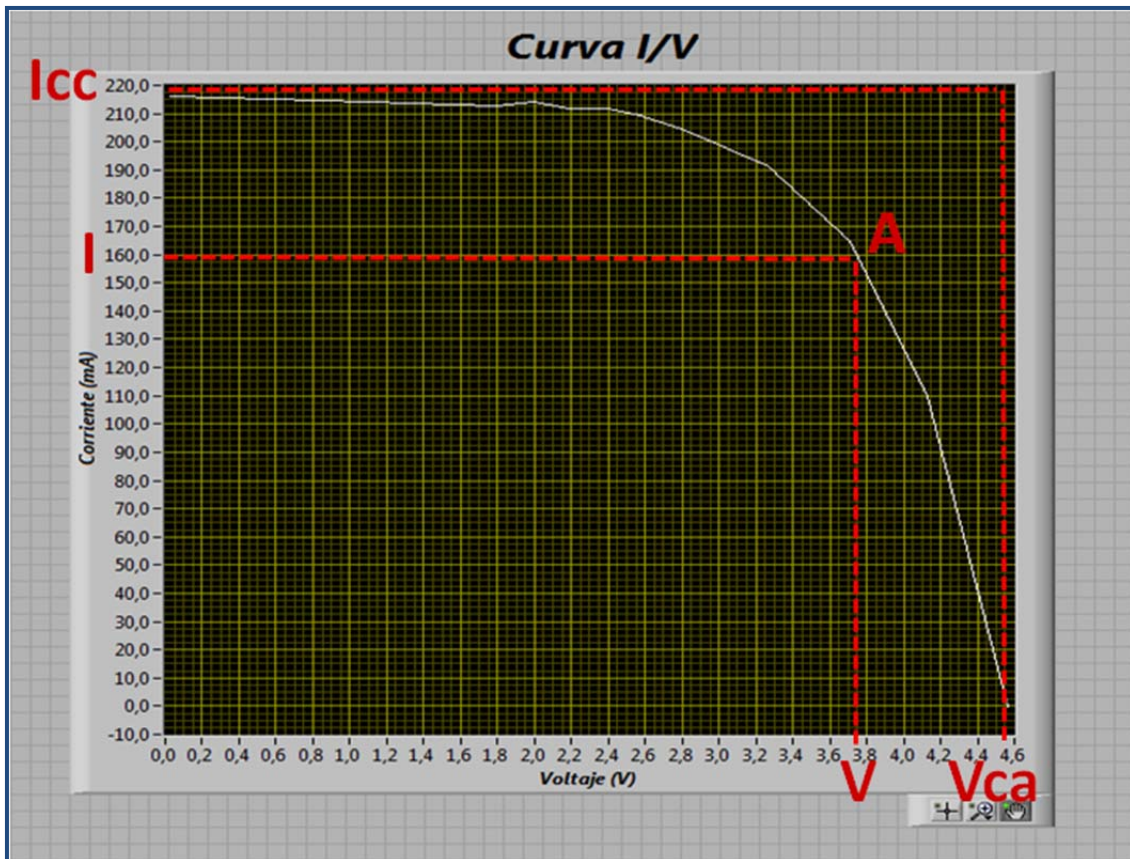


Ilustración 6: Especificaciones Curva I-V

Para un determinado panel y en unas condiciones de luminosidad y temperaturas constantes, la curva queda determinada y el punto concreto sobre dicha curva que representa las condiciones de trabajo del panel quedará fijado para el circuito que alimenta éste.

Como hemos indicado la intensidad radiante incidente y la temperatura ambiente son las dos variables que más influencia tienen en la respuesta eléctrica del mismo, quedando así determinada cada curva medida sobre el módulo indicando estas dos variables en su realización.

El estándar internacionalmente aceptado para la realización de medidas en paneles fotovoltaicos es de una intensidad radiante de 1000 W/m^2 , que se conoce como una intensidad de "un sol", y una temperatura de la célula de 25°C . Estas condiciones se simulan en un laboratorio de ensayo mediante un simulador solar (lámparas que emiten un espectro luminoso muy similar al del sol).

Como las condiciones de trabajo reales de los paneles una vez instalados difieren a las condiciones de laboratorio, se hace necesario conocer las variaciones que pueden producirse para tener en cuenta posibles variaciones.

Estas variaciones suelen consistir en cambios de la intensidad de radiación y cambios en la temperatura a la que se encuentra sometido el panel fotovoltaico.

Estas variaciones se ven reflejadas de la siguiente forma en una curva I-V:

✓ ***Cambio de intensidad de radiación:***

Un cambio en la intensidad de radiación genera una variación en la corriente de salida incluso para cualquier valor de tensión. La corriente varía con la radiación de forma directamente proporcional mientras que la tensión se mantiene prácticamente constante.

✓ ***Cambio de temperatura:***

Un aumento de la temperatura del módulo genera una reducción de la tensión de forma directamente proporcional. Por otro lado se produce un pequeño incremento (decremento en valor absoluto) de la corriente para valores bajos de tensión cuando aumenta la temperatura.

Una vez conocidas estas posibles variaciones se puede predecir con cierto margen de error como podrán variar las mediciones de una curva I-V de un módulo en condiciones de laboratorio y en condiciones ambientales.

2.4. Medición curva I-V en módulos fotovoltaicos

Dado que la curva I-V es una curva característica a cada panel fotovoltaico, mediante esta curva se puede identificar el rendimiento de un panel fotovoltaico, debido a que en la misma se representan los valores de tensión y corriente del módulo, medidos experimentalmente y estando sometido a unas determinadas condiciones constantes de insolación y temperatura.

Como mediante esta medición podemos obtener el rendimiento real de una célula o panel fotovoltaico, de la misma también podemos observar la posible degradación que ha sufrido un módulo fotovoltaico en el tiempo comparando las gráficas obtenidas del módulo a lo largo del tiempo.

Esto es posible gracias a la comparativa de diferentes curvas I-V tomadas en el mismo módulo y que estén tomadas bajo las mismas condiciones de radiación y temperatura.

Para medir un panel fotovoltaico y observar su degradación a lo largo del tiempo es necesario como hemos comentado realizar mediciones constantes de los mismos bajo las condiciones a las que se encuentran sometidos a diario. Este hecho condiciona en la mayoría de los casos que para la realización de estas mediciones el técnico que las realice deba desplazarse a lugar donde se encuentren instalados los mismos.

Por norma general las condiciones de instalación de los módulos fotovoltaicos son en el exterior en azoteas o tejados de edificios de difícil acceso para recibir la mayor radiación solar posible dentro de las ciudades o lugares remotos donde se encuentren instalados huertos solares. Este hecho condiciona el que sea necesario disponer de un equipamiento de medición que sea fácilmente transportable y que nos permita realizar mediciones con una precisión razonable siendo estas las razones principales del estudio de este proyecto.

3. DESARROLLO DEL SISTEMA PORTATIL DE MEDICION

Para el desarrollo del estudio, la realización de mediciones y la implementación del proyecto se ha decidido utilizar un equipamiento que permita la realización de mediciones en campo, siendo una de las principales premisas que el dispositivo sea un dispositivo transportable por el técnico que realice la medición y que este pueda ser desplazado allí donde se encuentre una instalación fotovoltaica.

Para la implementación del equipo de medida se decidió utilizar el material que se describe a continuación junto con el sistema de instrumentación portátil MyDAQ de National Instruments.

Este sistema NI MyDAQ es un sistema de medición de pequeño tamaño y peso, pero que junto con un ordenador portátil permite la realización de medidas en campo, siendo este equipo el elemento central del estudio pues gracias al mismo se podrán realizar las mediciones sobre los módulos fotovoltaicos en el exterior.

Dado que la principal premisa del proyecto es la evaluación de un sistema que permita la toma de medidas fiables en campo se ha optado por el siguiente equipamiento pues permite realizar estas medidas, gracias a que es un equipamiento portátil de pequeño volumen, y también dispone como importante ventaja que durante la realización de mediciones permite mostrar los resultados obtenidos de forma inmediata por la pantalla del ordenador personal al que se encuentre conectado el dispositivo y también permite la posibilidad de almacenar los resultados en el mismo para su posterior análisis.

Para la implementación del sistema de medición el equipamiento NI MyDAQ se conectará mediante un puerto USB (Universal Serial Bus) con el ordenador portátil. Para su utilización a través del ordenador portátil se instalarán en el mismo las plataformas software NI LabView y NI ELVSMx para la comunicación con el dispositivo.

Para la realización de mediciones se conectará el dispositivo según el conexionado adecuado al mini-módulo fotovoltaico que se desee realizar la medición junto con una carga variable que permita variar su valor para ir realizando la toma de medidas.

A continuación se expone un diagrama de bloques del diseño del equipo de medición:

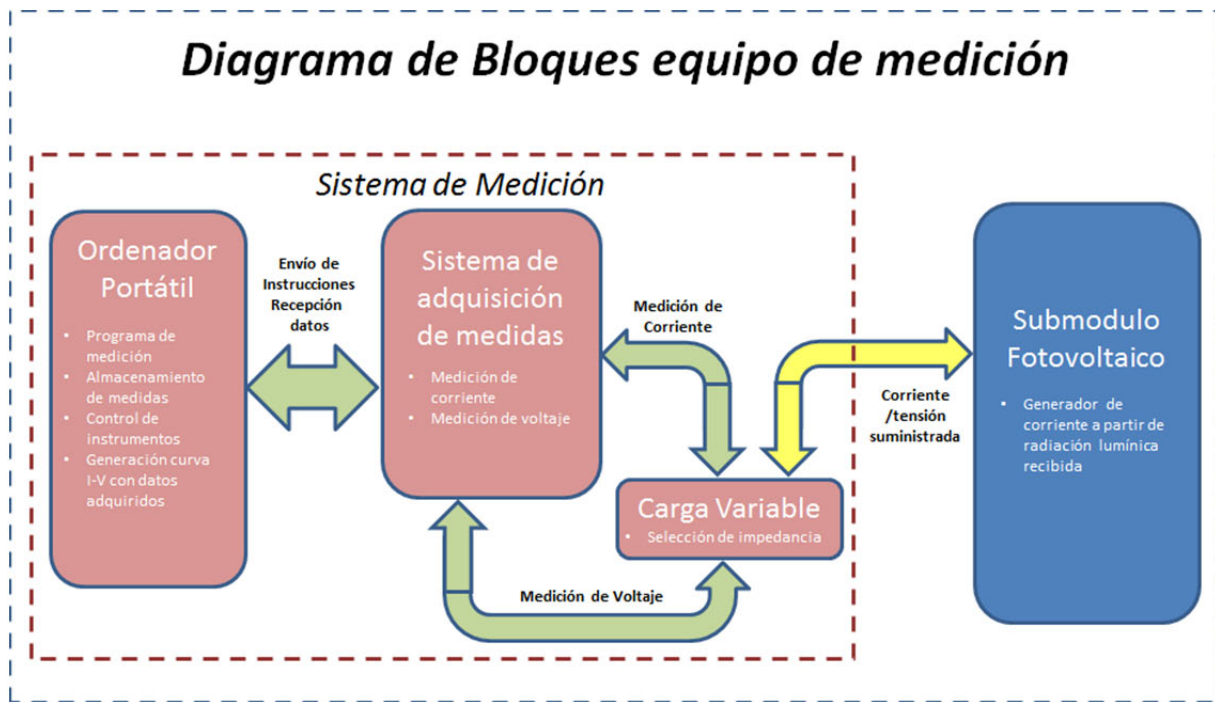


Ilustración 7: Diagrama de Bloques

Como se puede observar en el diagrama de bloques el sistema de medición contará con los elementos mínimos que permitan la realización de la medición. Estos elementos serán los siguientes:

✓ **Sistema de adquisición de medidas:**

Es el equipamiento que realiza las mediciones de corriente y tensión y que permite la obtención de los valores del módulo.

✓ **Sistema de control:**

Es el equipamiento donde se generará y ejecutará el programa de medición, que controle el sistema de adquisición de medidas y también donde se almacenarán los datos recogidos y se generarán las curvas I-V con los mismos.

✓ **Sistema de Carga:**

Es la carga variable que se conectará al panel fotovoltaico y donde se generan los valores de corriente y tensión que permitirán la medición y la obtención de la curva I-V del módulo.

✓ **Submódulo Fotovoltaico:**

Es el mini-módulo sobre el que se realizara la medición de sus características y rendimiento y sobre el que se obtendrá la curva I-V para su posterior caracterización.

A continuación se describen técnicamente los siguientes elementos necesarios para el desarrollo del proyecto:

3.1. Sistema de adquisición de medidas NI MyDAQ

EL sistema de adquisición de medidas elegido para la implementación del proyecto es el dispositivo MyDAQ de National Instruments. El sistema NI MyDAQ es un dispositivo de medición de bajo costo y fácil implementación de la empresa National Instruments, que gracias a su tamaño contenido permite el desarrollo de mediciones en campo.

A continuación podemos observar una imagen del dispositivo NI MyDAQ:

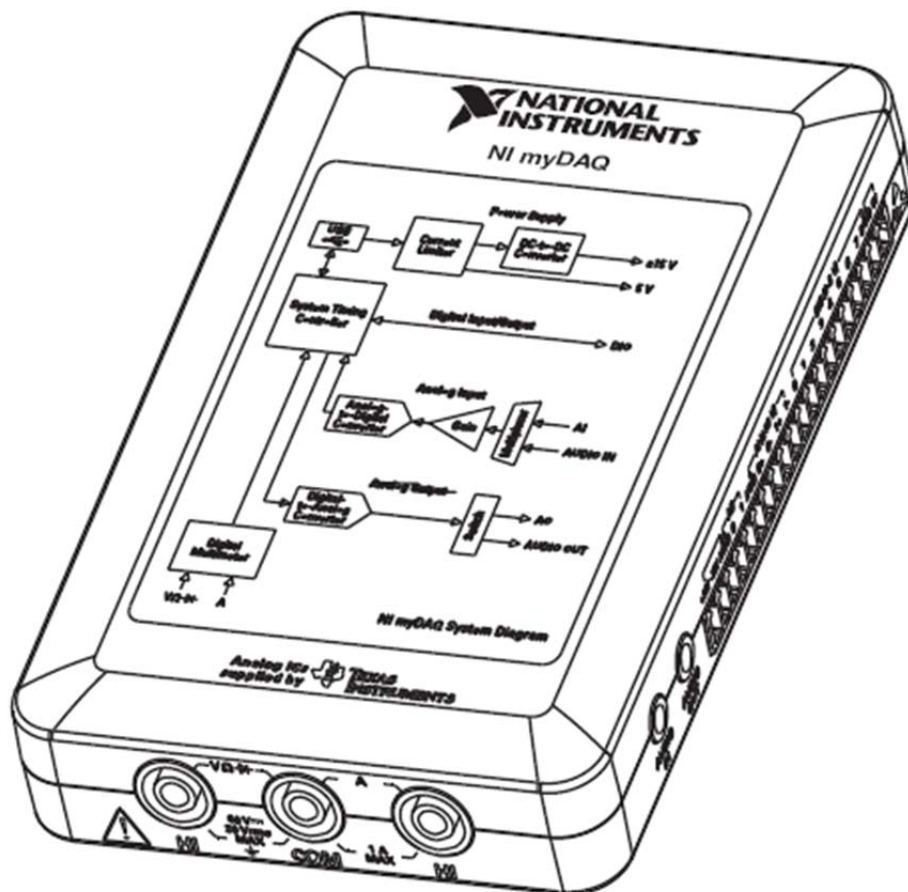


Ilustración 8: Dispositivo NI MyDAQ

Este dispositivo al ser un sistema de medición portátil dispone de un tamaño y peso contenido siendo sus especificaciones las siguientes:

- ✓ Largo: 137 mm.
- ✓ Ancho: 88 mm (96 mm incluido el terminal de 20 conectores).
- ✓ Profundidad: 23 mm.

A continuación se muestra el esquema de conexionado del dispositivo:

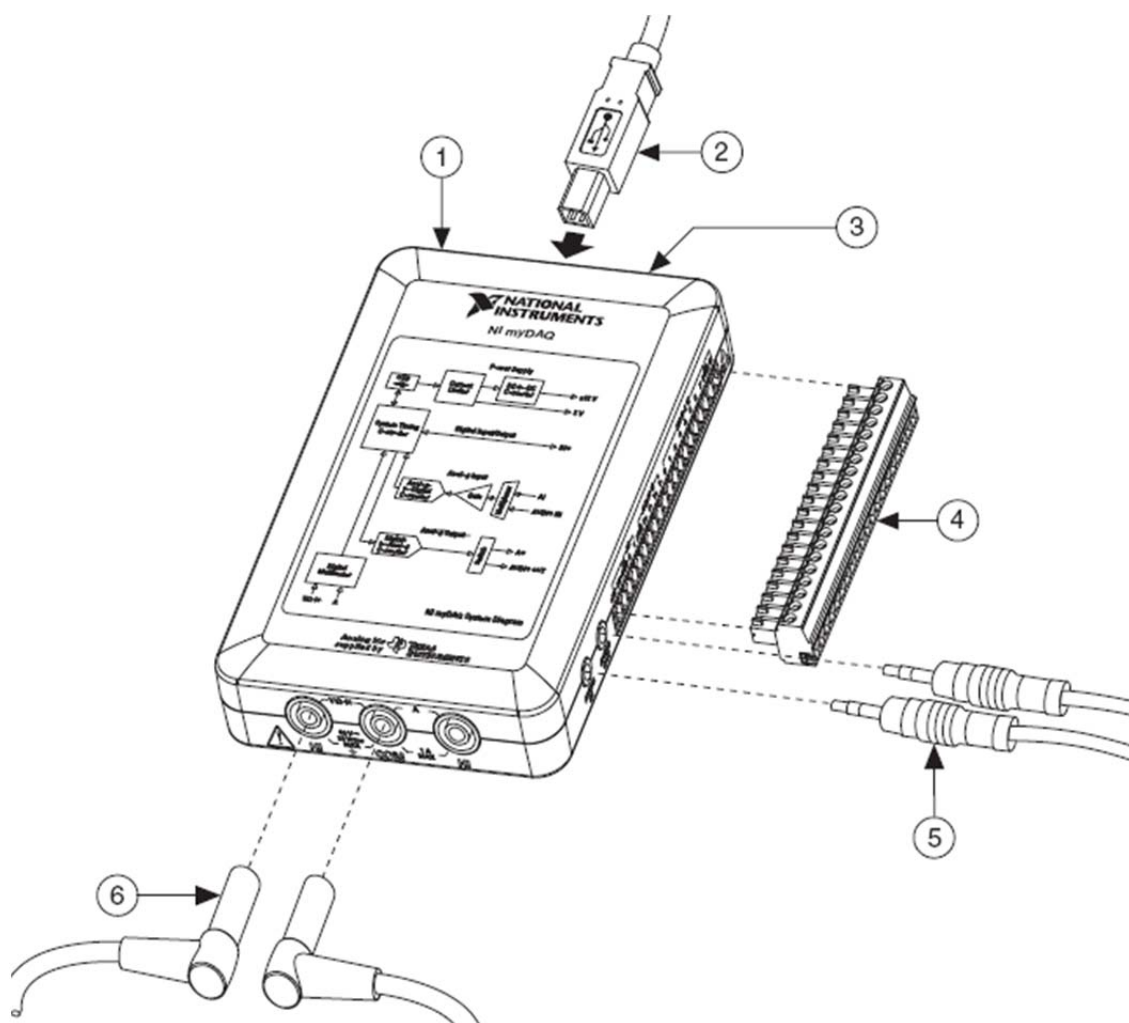


Ilustración 9: Conexionado NI MyDAQ

Las conexiones que se observan en la imagen anterior se resumen en el listado siguiente:

- ✓ Dispositivo NI MyDAQ.
- ✓ Entrada USB para conexión a PC.
- ✓ Led de estado.

- ✓ Conector de 20 terminales E/S.
- ✓ Entrada y salida de audio.
- ✓ Conexiones banana para multímetro.

Al ser un dispositivo diseñado para la realización de mediciones portátiles en campo la alimentación del mismo se realiza a través del puerto de entrada/salida USB por el que también se realiza el intercambio de datos.

Para la realización de mediciones y su entrega de datos al PC el NI MyDAQ presenta el siguiente conexionado interno:

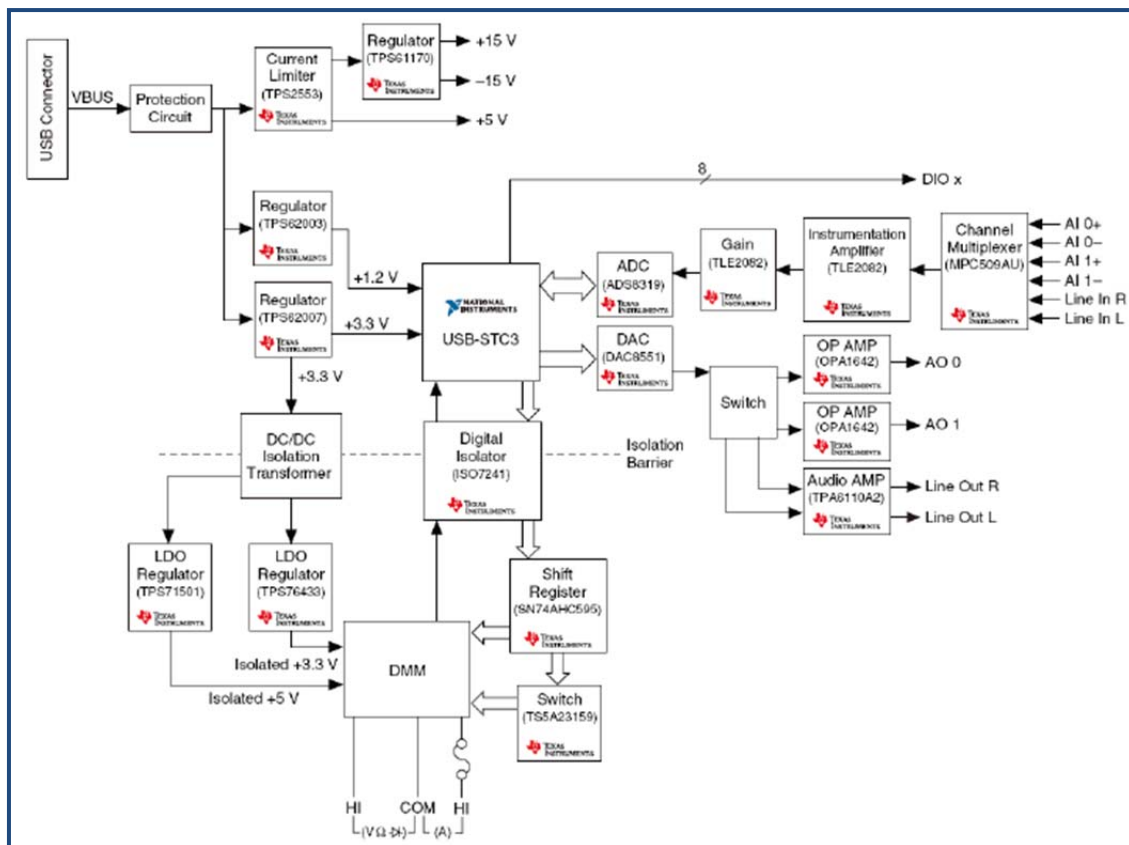


Ilustración 10: Esquema de componentes NI MyDAQ

Como se puede observar en la imagen anterior el dispositivo implementa una serie de entradas y salidas tanto analógicas como digitales además de las propias de un multímetro digital.

Esta circuitería permite los siguientes canales de entrada y salida de datos:

- ✓ 2 Canales de entradas analógicas que pueden llegar a medir hasta ± 10 Voltios.
- ✓ 2 Canales de salidas analógicas que pueden generar señales de ± 10 Voltios
- ✓ 8 Canales de entrada / salida digitales pudiendo configurarse cada canal de forma independiente como entrada o como salida.
- ✓ 3 Fuentes de alimentación: Una de +15 Voltios, otra de -15 Voltios y una tercera de +5 Voltios, que permiten la alimentación de amplificadores y reguladores. La potencia total disponible está limitada a 500 mW.
- ✓ 1 Entrada de audio
- ✓ 1 Salida de audio
- ✓ 1 Multímetro Digital (DMM) que permite obtener medidas es de tensión y corriente tanto en alterna como en continua

A continuación podemos observar una vista lateral del dispositivo donde se aprecia el terminal de 20 conexiones lateral del NI MyDAQ y las entradas y salidas de audio que se presentan en el mismo:

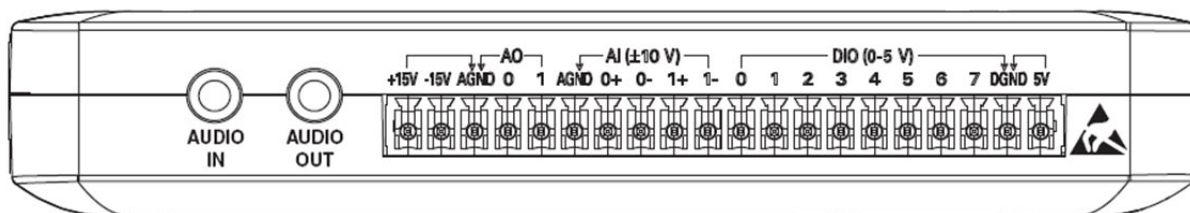


Ilustración 11: Entradas y Salidas NI MyDAQ

La siguiente tabla indica la descripción para cada entrada de la conexión lateral del NI MyDAQ:

Señal	Referencia	Dirección	Descripción
AUDIO IN	-	Entrada	Entradas de audio izquierdo y derecho con conector Jack estéreo

AUDIO OUT	-	Salida	Salidas de audio derecha e izquierda con conector Jack estéreo
+15V/-15V	AGND	Salida	Fuente de alimentación +15V/-15V
AGND	-	-	Masa analógica. Terminal de referencia para AI, AO, +15 V, y -15 V
AO 0/AO 1	AGND	Salida	Canales de salida analógica 0 y 1
AI 0+/AI 0- AI 1+/AI 1-	AGND	Entrada	Canales de entrada analógica 0 y 1
DIO <0..7>	DGND	Entrada o salida	Canales de entrada y salida digital
DGND	-	-	Masa digital. Referencia para las líneas DIO y fuente de alimentación 5 V
5V	DGND	Salida	Fuente de alimentación 5V

Tabla 1: Conexiones MyDAQ

Para las conexiones de medición del multímetro digital el NI MyDAQ presenta en su parte inferior tres conexiones con terminal banana similares a las de cualquier multímetro como se puede observar en la imagen de a continuación:

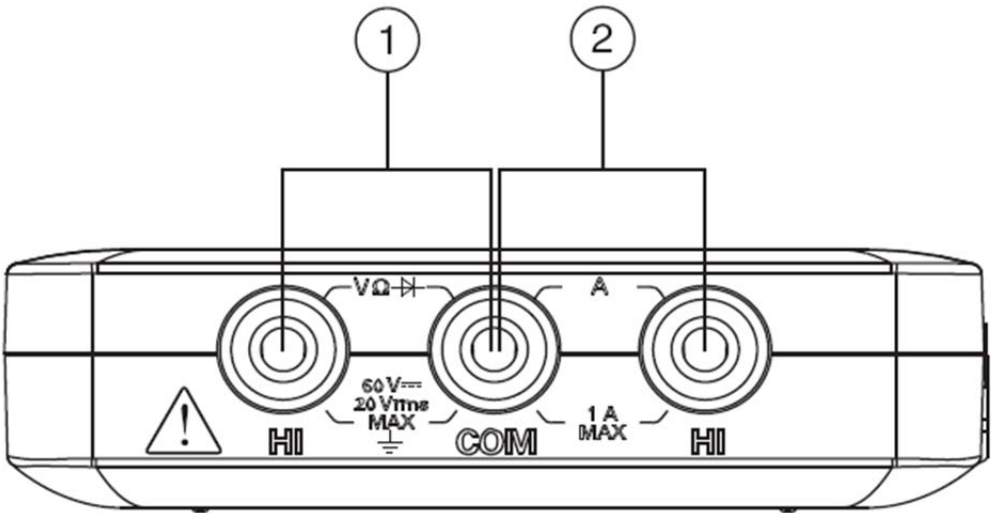


Ilustración 12: Conexiones Multímetro NI MyDAQ

- ✓ Conexión 1 para medición de tensión, resistencias, diodos y continuidad
- ✓ Conexión 2 para la medición de corriente.

Señal	Referencia	Dirección	Descripción
HI (VΩ)	COM	Entrada	Terminal positivo para medición de voltaje, resistencia y diodos.
COM	-	-	Referencia para las mediciones del multímetro digital.
HI (A)	COM	Entrada	Terminal positivo para medición de corriente.

Tabla 2: Conexiones Multímetro Digital

3.1.1. Entradas Analógicas de MyDAQ

El NI MyDAQ dispone de dos canales de entrada analógica. Estos canales pueden ser configurados, como entradas de propósito general de tensión diferencial de alta impedancia o como entrada de audio. Las entradas analógicas son multiplexadas, utilizándose un solo conversor de analógico a digital (ADC) para probar muestrear ambos canales. En modo de uso normal se pueden medir en las entradas analógicas señales de hasta ± 10 V.

En modo de entrada audio, los dos canales representan una entrada de nivel de línea estéreo. Las entradas analógicas pueden medir hasta 200 kS/s por canal, por lo que son útiles para la adquisición de formas de onda.

3.1.2. Salidas Analógicas de MyDAQ

El NI MyDAQ dispone de dos canales de salida analógica. Estos canales se pueden configurar como de propósito general o como de salida de tensión de salida de audio. Ambos canales tienen un convertidor de señal digital a analógica dedicado (DAC), por lo se pueden utilizar simultáneamente. En el modo de uso general, puede generar hasta a ± 10 V señales.

En el modo de salida audio, los dos canales representan una salida de nivel de línea estéreo. Las salidas analógicas se pueden actualizar a velocidades de hasta 200 kS/s por canal, lo que los útiles para la generación de forma de onda.

3.1.3. Entradas y salidas Digitales de MyDAQ

Hay ocho líneas de que pueden utilizarse como entradas salidas digitales del NI MyDAQ. Cada línea es programable de forma independiente en la interfaz de funciones (PFI), lo que significa que se puede configurar como de propósito general temporizado por software como entrada o salida digital, o puede se pueden configurar como una entrada de función especial o salida de un contador digital.

3.1.4. Fuentes de alimentación

El dispositivo MyDAQ dispone de tres fuentes de alimentación con las que puede alimentar dispositivos externos. Dos de estas fuentes de alimentación disponen de tensiones de 15 V y -15 V y se puede utilizar para componentes analógicos de potencia tales como amplificadores operacionales y reguladores lineales.

La otra fuente de alimentación proporciona una tensión de 5 V y se puede utilizar para alimentar componentes digitales de potencia, tales como los dispositivos de lógica.

La potencia total disponible para las fuentes de alimentación, salidas analógicas y digitales salidas se limita a 500 mW (típico) / 100 mW (mínimo).

Para calcular el consumo de energía total de las fuentes de alimentación, es necesario multiplicar la salida tensión por la corriente de carga para cada línea de voltaje y sumarmas todas juntas. Para el consumo de potencia de salida digital, es necesario multiplicar 3,3 V por la corriente de carga. Para el consumo de energía de la salida analógica, se multiplica 15 V por la corriente de carga. La salida de audio resta del total de energía 100 mW.

3.1.5. Multímetro Digital

El MyDAQ dispone de un multímetro digital incorporado que proporciona las funciones para la medición de tensión (CC y CA), corriente (CC y CA), la resistencia y la caída de tensión del diodo. Las mediciones del multímetro digital son temporizadas por software, por lo que las tasas de actualización de las mediciones pueden verse afectadas por la carga de CPU del ordenador al que se encuentre conectado por USB.

3.1.6. Sustitución del fusible en NI MyDAQ

El MyDAQ dispone de un fusible para proteger el dispositivo de una sobrecorriente a través de la entrada HI (A). Para detectar si el fusible se ha roto únicamente será necesario comprobar que la lectura en modo lector de corriente es siempre 0 A.

Otra forma de comprobar que el fusible está fundido es utilizar un cable de conexión banana que puentee la conexión y que conecte los terminales HI (V) y HI (A) del DMM. Una vez puenteados mediante el programa NI ELVISmx multímetro digital (DMM) que incorpora el dispositivo se selecciona el modo de resistencia y se ajusta el rango a 200 Ω . Si al realizar estas acciones la pantalla muestra + Over, indica que la conexión del circuito esta desconectada con lo que el fusible está roto y es necesario reemplazarlo.

Para sustituir el fusible en necesario un fusible de sustitución de 1,25 A de 520 mm (Littelfuse número de pieza 02.161,25 en www.littelfuse.com).

Para reemplazar un fusible quemado, realice los siguientes pasos:

- ✓ 1. Apague el dispositivo correctamente desconectarlo del PC y se desconectar el cable USB.
- ✓ 2. Retire el conector de terminal de tornillo y todos los demás cables de señal del dispositivo.
- ✓ 3. Afloje los cuatro tornillos Phillips que sujetan la parte inferior de la carcasa en el dispositivo y retire la tapa superior de la caja
- ✓ 4. Reemplace el fusible quemado.

A continuación se muestra una imagen con en el interior del dispositivo:

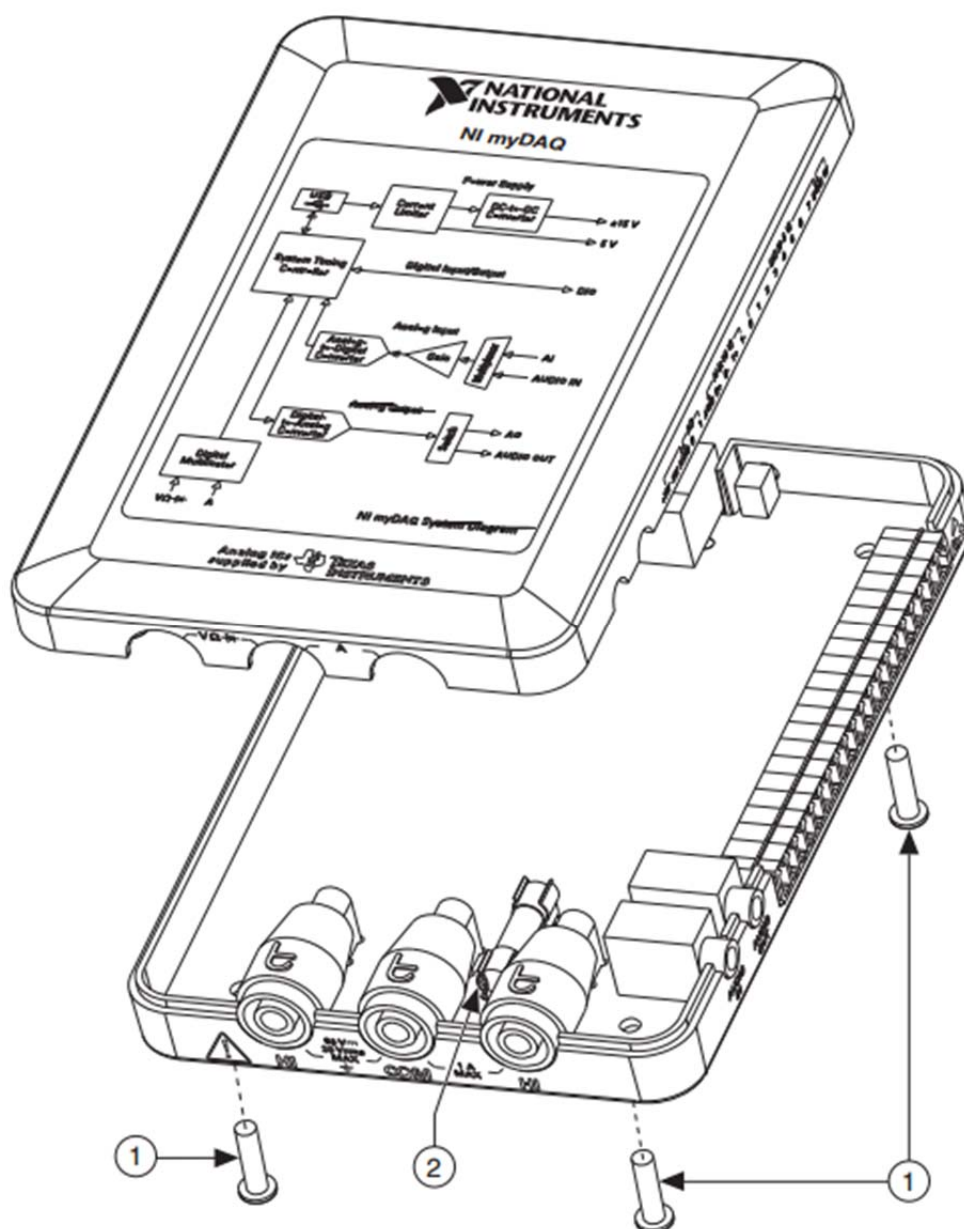


Ilustración 13: Interior NI MYDAQ

- ✓ 1. Posición tornillos de fijación.
- ✓ 2. Situación fusible.

3.1.7. Especificaciones del NI MyDAQ:

A continuación se describen las especificaciones técnicas del NI MyDAQ:

3.1.7.1. Entrada Analógica

- ✓ Número de canales.....2 entradas diferenciales o 1 entrada de audio
- ✓ Resolución ADC.....16 bits
- ✓ Máxima velocidad de actualización200 kS/s
- ✓ Precisión de sincronización100 ppm
- ✓ Resolución de sincronización10 ns
- ✓ Rango
 - Entrada analógica..... $\pm 10\text{ V}$, $\pm 2\text{ V}$
 - Entrada de audio..... $\pm 2\text{ V}$
- ✓ Banda de paso (-3 dB)
 - Entrada analógicaDC hasta 400 kHz
 - Entrada de audio.....1.5 Hz hasta 400 kHz
- ✓ Tipo de conector
 - Entrada analógica.....Terminales de tornillo
 - Entrada de audio.....3.5mm Jack estéreo
- ✓ Excitación de Micrófono5.25 V
- ✓ Tamaño entrada FIFO.....4,095 ejemplos
- ✓ Máximo voltaje de trabajo $\pm 10.5\text{ V}$
- ✓ Relación de rechazo en modo común (CMRR).....70 dB
- ✓ Impedancia de entrada
 - Unidad encendida
 - AI+ or AI– to AGND $>10\text{ G}\Omega$ || 100 pF

- AI+ a AI->10 GΩ || 100 pF
- Unidad apagada
 - AI+ or AI- to AGND5 kΩ
 - AI+ a AI-10 kΩ
- ✓ Filtro Anti-aliasing.....Ninguno
- ✓ Protección sobre voltaje
 - AI+ or AI - to AGND.....±16 V
 - Entrada audio.....Ninguna

3.1.7.2. Salida Analógica

- ✓ Número de canales.....2 o una salida estero de audio
- ✓ Resolución DAC.....16 bits
- ✓ Máximo ratio de actualización200 kS/s
- ✓ Rango:
 - Salida Analógica.....±10 V, ±2 V
 - Salida de audio.....±2 V
- ✓ Máxima corriente de salida.....2 mA
- ✓ Impedancia de salida
 - Salida Analógica.....1 Ω
 - Salida de audio.....120 Ω
- ✓ Mínima impedancia de carga.....8 Ω
- ✓ Tipo de conector
 - Salida Analógica.....Terminales de tornillo

- Salida de audio.....3.5 mm Jack estéreo
- ✓ Acoplamiento AC de frecuencia paso alto.....48 Hz
- ✓ Velocidad de respuesta.....4 V/μs
- ✓ Precisión de sincronización.....100 ppm
- ✓ Precisión de resolución.....10 ns
- ✓ Protección overdrive.....±16 V hasta AGND
- ✓ Máximo voltaje de arranque.....±110 mV
- ✓ Tamaño salida FIFO.....8,191 ejemplos

3.1.7.3. Entradas/Salidas Digitales

- ✓ Número de líneas..... 8; DIO <0...7>
- ✓ Control de dirección.....selección individual por línea
- ✓ Modo de actualización.....Software-timed
- ✓ Resistencia Pull-down.....75 kΩ
- ✓ Nivel Lógico.....5V LVTTL entrada y 3.3V LVTTL salida
- ✓ VIH min2.0 V
- ✓ VIL max.....0.8 V
- ✓ Máxima corriente de salida por línea.....4 mA

3.1.7.4. Contador de propósito general

- ✓ Numero de contadores.....1
- ✓ Resolución32 bits
- ✓ Base de reloj internos100 MHz
- ✓ Precisión.....100 ppm

- ✓ Máximo pulso1 MS/s
- ✓ Default routing
 - CTR 0 SOURCE.....PFI 0 ruteado hacia DIO 0
 - CTR 0 GATE.....PFI 1 ruteado hacia DIO 1
 - CTR 0 AUX.....PFI 2 ruteado hacia DIO 2
 - CTR 0 OUTPFI 3 ruteado hacia DIO 3
 - FREQ OUT.....PFI 4 ruteado hacia DIO 4
- ✓ Transferencia de datos.....Programada I/O
- ✓ Modo de actualización.....Software-timed

3.1.7.5. Multímetro digital

- ✓ Funciones:
 - Voltaje DC
 - Voltaje AC
 - Corriente DC
 - Corriente AC
 - Resistencia
 - Continuidad
 - Diodo
- ✓ Nivel de aislamiento.....60 VDC/20 Vrms, CAT I
- ✓ Conectividad.....conectores banana
- ✓ Resolución3.5 dígitos
- ✓ Entradas:

- DC Voltaje y DC Corriente
- Resistencia, Diodo, Continuidad
- AC Voltaje y AC Corriente

✓ Medición de Voltaje

- Rango DC.....200 mV, 2 V, 20 V, 60 V
- Rango AC.....200 mVrms, 2 Vrms, 20 Vrms

✓ Precisión:

Función	Rango	Resolución	Precisión	
Voltios DC	200 mV	0.1mV	0.5% + 0.2mV	
	2 V	0.001mV	0.5% + 2mV	
	20 V	0.01V	0.5% + 20mV	
	60 V	0.1V	0.5% + 200mV	
			40 a 400 Hz	400 a 2 kHz
Voltios AC	200 mV	0.1mV	1.4% + 0.6mV	-
	2 V	0.001mV	1.4% + 5mV	5.4% + 5mV
	20 V	0.01V	1.5% + 50mV	5.5% + 50mV

Tabla 3: Precisión Voltímetro MyDAQ

- ✓ Impedancia de entrada.....10 MΩ
- ✓ Medición de corriente:
 - Rango DC.....20 mA, 200 mA, 1 A
 - Rango AC.....20 mArms, 200 mArms, 1 Arms

Función	Rango	Resolución	Precisión	
Amperios DC	20 mA	0.01mA	0.5% + 0.03 mA	
	200 mA	0.1mA	0.5% + 0.3 mA	
	1 A	1 mA	0.5% + 3 mA	
			40 a 400 Hz	400 a 2 kHz
Amperios AC	20 mA	0.01mA	1.4% + 0.06 mA	5% + 0.06 mA
	200 mA	0.1mA	1.5% + 0.8 mA	5% + 0.8 mA
	1 A	1 mA	1.6% + 6 mA	5% + 6 mA

Tabla 4: Precisión Amperímetro MyDAQ

- ✓ Medición de resistencias:
 - Rangos.....200Ω, 2 kΩ, 20 kΩ, 200 kΩ, 2 MΩ, 20 MΩ

Función	Rango	Resolución	Precisión
Ohmios	200 Ω	0.1 Ω	0.8% + 0.3 Ω
	2000 Ω	1 Ω	0.8% + 3 Ω
	20k Ω	10 Ω	0.8% + 30 Ω
	200k Ω	100 Ω	0.8% + 300 Ω
	2M Ω	1k Ω	0.8% + 3k Ω
	20M Ω	10k Ω	1.5% + 50k Ω

Tabla 5: Precisión medición de resistencias MyDAQ

✓ Medición de Diodos:

- Rango.....2V

3.1.7.6. Fuentes de alimentación:

✓ Fuente de +15V

- Salida de voltaje (sin carga)..... 15.0 V

- Máxima salida de voltaje (sin carga)..... 15.3 V

- Mínima salida de voltaje (plena carga)..... 14.0 V

- Máxima salida de corriente..... 32 mA

- Máxima carga capacitativa..... 470 μ F

✓ Fuente de -15V

- Salida de voltaje (sin carga)..... -15.0 V
 - Máxima salida de voltaje (sin carga)..... -15.3 V
 - Mínima salida de voltaje (plena carga)..... -14.0 V
 - Máxima salida de corriente..... 32 mA
 - Máxima carga capacitativa..... 470 μ F
- ✓ Fuente de +5V
- Salida de voltaje (sin carga)..... 4.9 V
 - Máxima salida de voltaje (sin carga)..... 5.2 V
 - Mínima salida de voltaje (plena carga)..... 4.0 V
 - Máxima salida de corriente..... 100 mA
 - Máxima carga capacitativa..... 33 μ F

3.1.7.7. Especificaciones Técnicas

- ✓ Comunicación con PC.....Puerto USB 2.0 Hi-Speed
- ✓ Dimensiones.....13.6 cm x 8.8 cm x 2.4 cm
- ✓ Peso.....164.0 g
- ✓ Temperatura de operación.....0 hasta 45 °C
- ✓ Temperatura de almacenamiento.....-20 hasta 70 °C
- ✓ Humedad de operación.....10 hasta 90% RH (Sin condensación)
- ✓ Humedad de almacenamiento.....10 hasta 90% RH (Sin condensación)
- ✓ Máxima Altitud de funcionamiento..... 2,000 m (a 25 °)

3.2. Sistema de Control

Para el desarrollo del proyecto, el sistema de control que controle el sistema de adquisición de medidas estará formado principalmente por un ordenador portátil en donde se instalara y ejecutaran los programas de control del dispositivo NI MyDAQ. A través del software de control instalado en el mismo se permitirá la toma de resultados y su posterior almacenaje y procesamiento, realizándose todas estas operaciones en el ordenador portátil.

Para el desarrollo de este proyecto hemos utilizado un portátil Packard Bell EasyNote de arquitectura x86 (32 Bits) con las siguientes especificaciones técnicas:

- ✓ Procesador: Inter Core 2 Duo T5300 @ 1.73 GHz
- ✓ Memoria RAM: 2 Gb
- ✓ Sistema Operativo: Windows Vista 32 Bits.

Una de las ventajas de la implementación de este proyecto es que no es necesario un ordenador portátil con gran capacidad de procesamiento lo que posibilita la utilización de cualquier sistema utilizado comúnmente hoy en día sin unos requerimientos elevados. Además la suite software con la que se controlara el sistema NI MyDAQ denominada LabVIEW está disponible para múltiples sistemas operativos como pueden ser las últimas plataformas Windows, Mac o Linux, permitiendo la implantación de este proyecto en prácticamente cualquier plataforma portátil.

3.2.1. National Instruments ELVSmx

Para el control del sistema de adquisición de medidas NI MyDAQ a través de un ordenador personal es necesaria la instalación del software NI ELVSmx. Este software instala los controladores del dispositivo y permite la realización de mediciones mediante la utilización de instrumentos software basados en Labview y diseñados para la toma de mediciones.

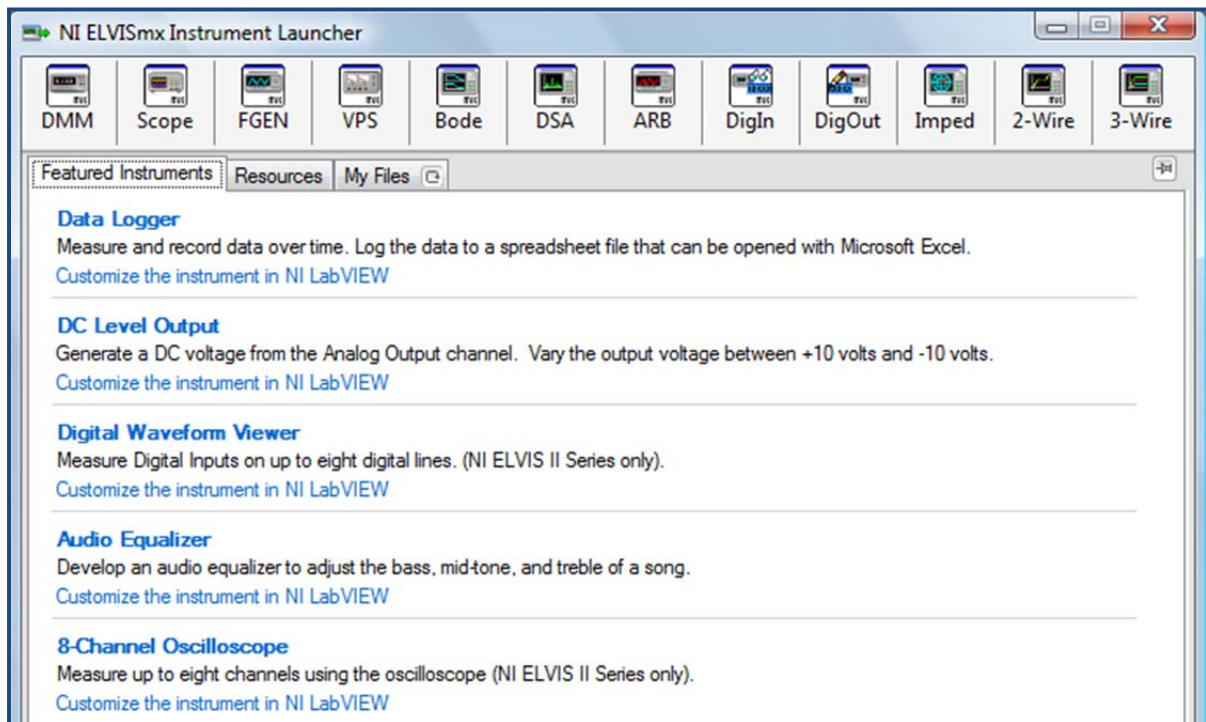


Ilustración 14: Programa NI ELVSmx Instrument Launcher

El programa NI ELVSmx se instala sobre un ordenador personal y permite el acceso a subprogramas ya realizados por National Instruments y que permiten la realización y adquisición de mediciones sencillas a través del NI MyDAQ.

Estos subprogramas de los que está compuesto el NI ELVSmx son los siguientes:

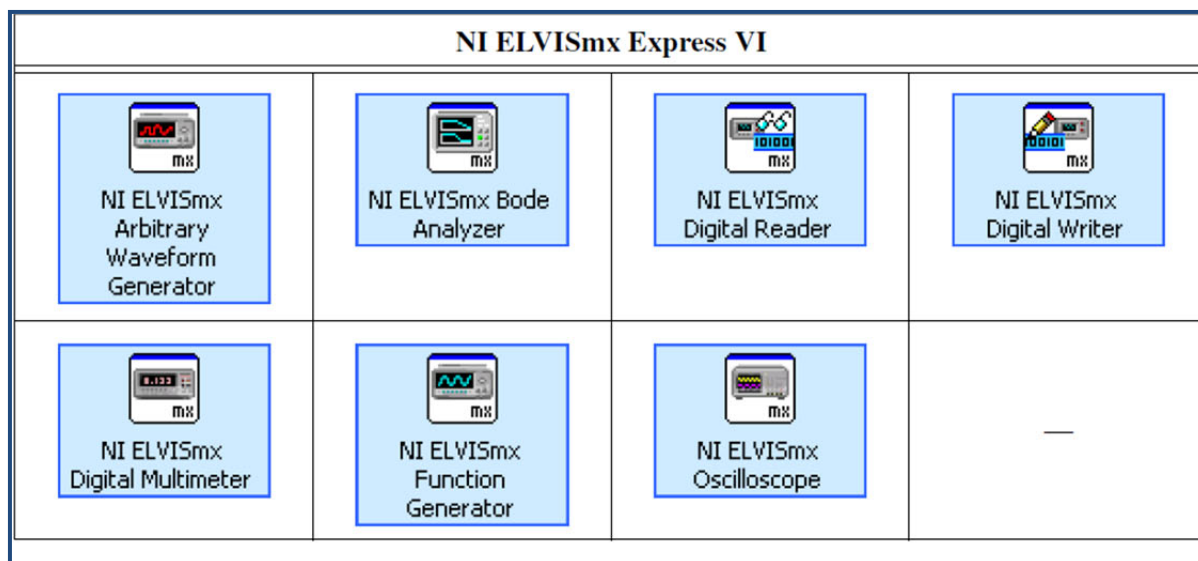


Ilustración 15: Subprogramas ELVISmx

A continuación se relata una breve descripción de los subprogramas que se incorporan en la suite de software NI ELVISmx:

3.2.1.1. Multímetro Digital (DMM)

El ELVISmx Multímetro digital NI (DMM) controla las funciones básicas del NI MyDAQ utilizado como un multímetro. Puede realizar mediciones de voltaje y corriente (CC y CA), resistencia, prueba de diodos y continuidad audible.

El usuario puede seleccionar mediante este subprograma el tipo de medida a realizar y qué rango de la medición puede hacerse.

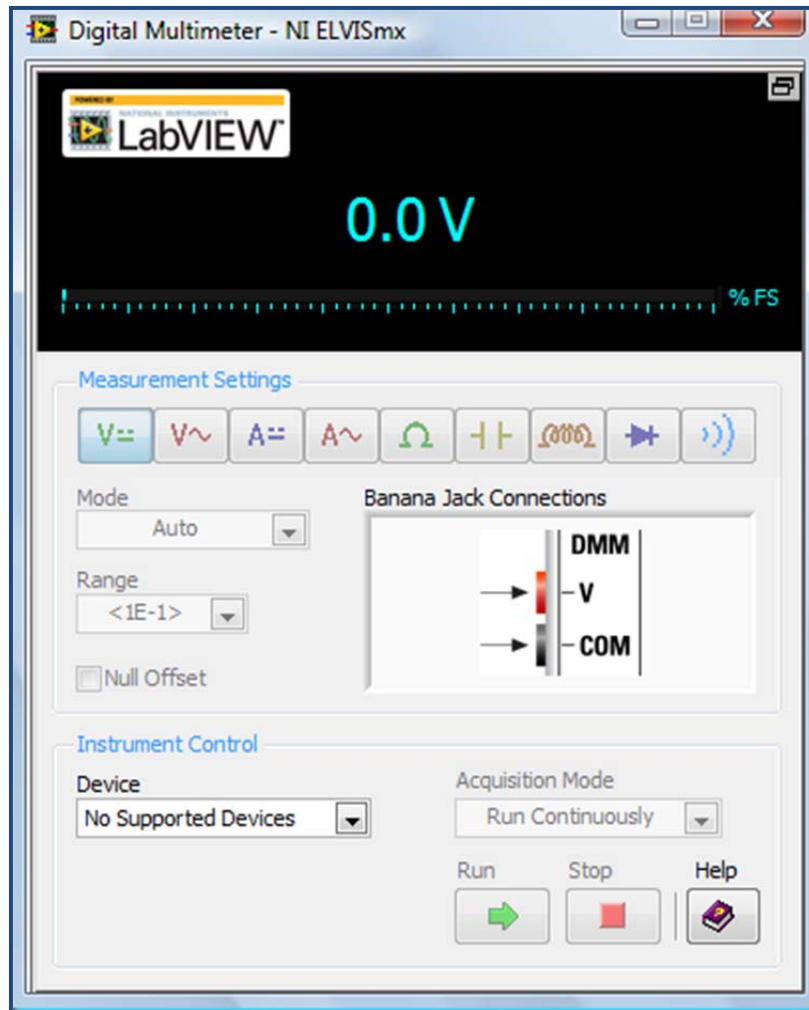


Ilustración 16: Multímetro digital

Mediante este programa se podrán realizar mediciones de multímetro con los siguientes rangos estarán disponibles para cada instrumento:

- ✓ Tensión Continua: 60 V, 20 V, 2 V y 200 mV
- ✓ Tensión Alterna: 20 V, 2 V, 200 mV
- ✓ Corriente CC: 1 A, 200 mA, 20 mA
- ✓ Corriente CA: 1 A, 200 mA, 20 mA
- ✓ Resistencia: 20 M Ω , 2 M Ω , 200 Ω k, 20 k Ω , 2 k Ω , 200 Ω
- ✓ Diodo: 2 gama V
- ✓ Continuidad

Cuando la casilla de verificación está activada, todas las mediciones posteriores se hacen con respecto a la medición realizada. Los valores para el DMM se almacenan en la memoria hasta que el instrumento está cerrado.

La imagen de conexiones Jack banana cambia según el tipo de medición que se realice indicado el tipo de conexión necesaria para la realización de la medición seleccionada.

Para mediciones de voltaje, resistencia, diodo y continuidad de las mediciones, la ventana conexiones Jack banana muestra el siguiente estado:

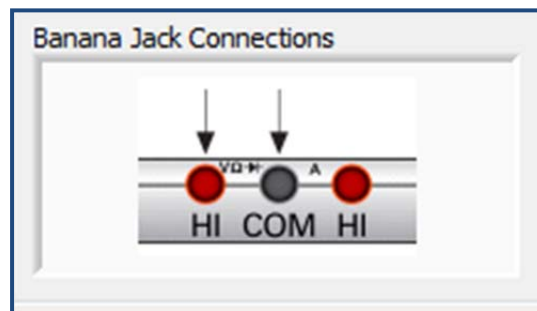


Ilustración 17: Conexión Multímetro medición voltaje

Para mediciones de corriente, la ventana conexiones Jack banana muestra el siguiente estado:

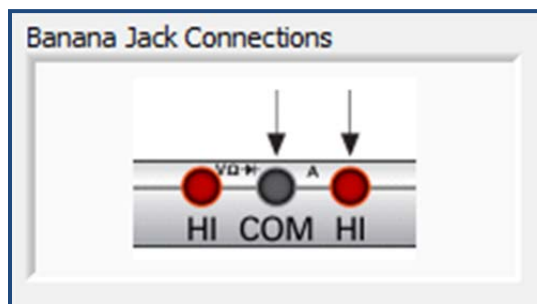


Ilustración 18: Conexión Multímetro medición corriente

La sección de Control de Instrumentos del DMM permite al usuario seleccionar el dispositivo a utilizar realizar una medición y si se desea adquirir una muestra o una adquisición continua.

3.2.1.2. Osciloscopio (Scope)

El ELVISmx Osciloscopio NI muestra datos de voltaje en el tiempo para el análisis de una o dos mediciones de tensión tomadas a través de los canales de entrada analógicos de la NI MyDAQ.

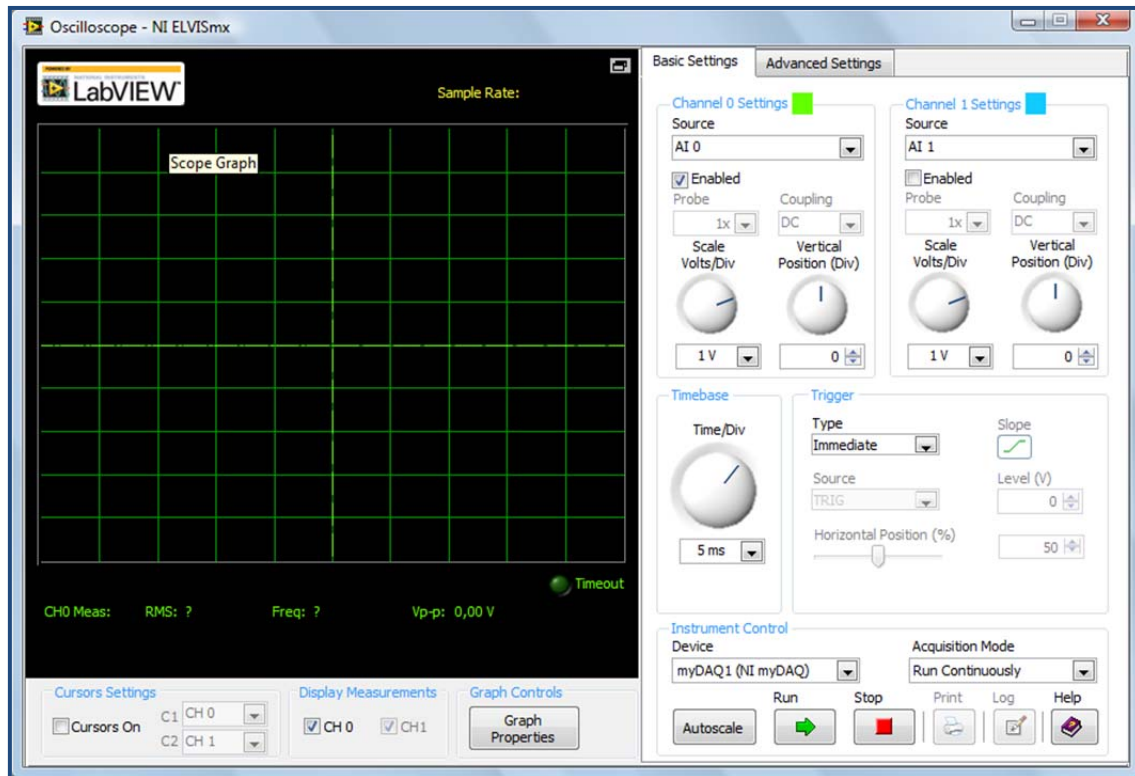


Ilustración 19: Función Osciloscopio

El panel frontal dispone de la escala y la posición para cada uno de los dos canales de forma independiente. La fuente de cada canal puede ser 0 AI, AI 1, AudioInput Izquierda o Derecha AudioInput. Los dos canales de AI son las entradas diferenciales la unidad MyDAQ y los canales AudioInput se miden a partir de los canales derecho e izquierdo de la toma de entrada de audio de 3,5 mm en el lado de la MyDAQ, no pudiendo utilizarse ambos tipos de entradas al mismo tiempo.

Las opciones de configuración de canal ajustan la posición y la escala vertical de cada canal en el ámbito de aplicación. Las opciones disponibles cuando se utiliza un MyDAQ son:

Escala (voltios/división):

- ✓ 5 V, 2 V, 1 V, 500 mV, 200 mV, 100 mV, 50 mV, 20 mV y 10 mV cuando se utilizan canales de entrada analógicos.
- ✓ 1V, 500 mV, 200 mV, 100 mV, 50 mV, 20 mV y 10 mV cuando se utilizan las entradas de audio.

El osciloscopio proporciona una base de tiempo modificable que permite el tiempo por división del alcance que se ha cambiado. Al cambiar el tiempo por división, se puede hacer zoom en las señales mostradas en el osciloscopio.

Bases de tiempo disponibles:

- ✓ Tiempo por División: 200ms, 100ms, 50ms, 20ms, 10ms, 5 ms, 2 ms, 1 ms, 500us, 200us, 100us, 50us, 20us 10us, y 5us

La sección de disparo da la opción de utilizar un disparador inmediato o un disparo por flanco, pudiendo seleccionar un flanco ascendente o descendente de la señal.

El panel frontal del osciloscopio incluye dos cursores que se pueden utilizar para mediciones más precisas.

Las mediciones de las opciones de visualización permiten activar y desactivar RMS, frecuencia y mediciones de tensión pico a pico de las señales adquiridas para cada canal. Estas mediciones se realizan en la parte de la señal en la ventana de alcance, y se muestran en la parte inferior de la pantalla.

La sección de configuración de Control de Instrumentos del osciloscopio le permite al usuario seleccionar el dispositivo a utilizar para realizar una medición y si se quiere adquirir una muestra o adquirir continuamente. Esta sección también contiene autoescala, correr, parar y registrar los botones para el ámbito de aplicación, así como un enlace a la sección de ayuda del osciloscopio en el NI ELVISmx ayuda. La caja de selección permite a un usuario seleccionar cualquier unidad MyDAQ que está conectado al sistema.

La función de autoescala se ajustará la escala de visualización de la tensión sobre la base de la tensión de pico a pico de la señal de CA. Con el botón autoescala es una forma rápida de ajustar la configuración de escala y la base de tiempo para mostrar una señal en el panel frontal suave alcance.

La opción Log permite que una señal capturada se guarde en un archivo de texto delimitado por tabuladores.

3.2.1.3. NI ELVISmx FGEN

El Generador de funciones de ELVISmx NI (FGEN) permite generar señales sinusoidales estándar, cuadrado, triángulo y formas de onda. El instrumento permite la selección de la

frecuencia, la amplitud y desplazamiento de DC de la señal, y proporciona un ajuste de ciclo de trabajo y la capacidad de barrido de frecuencia. El FGEN utiliza AO 0 en el terminal de tornillo en un NI MyDAQ para su producción, que utiliza AGND como referencia de masa.

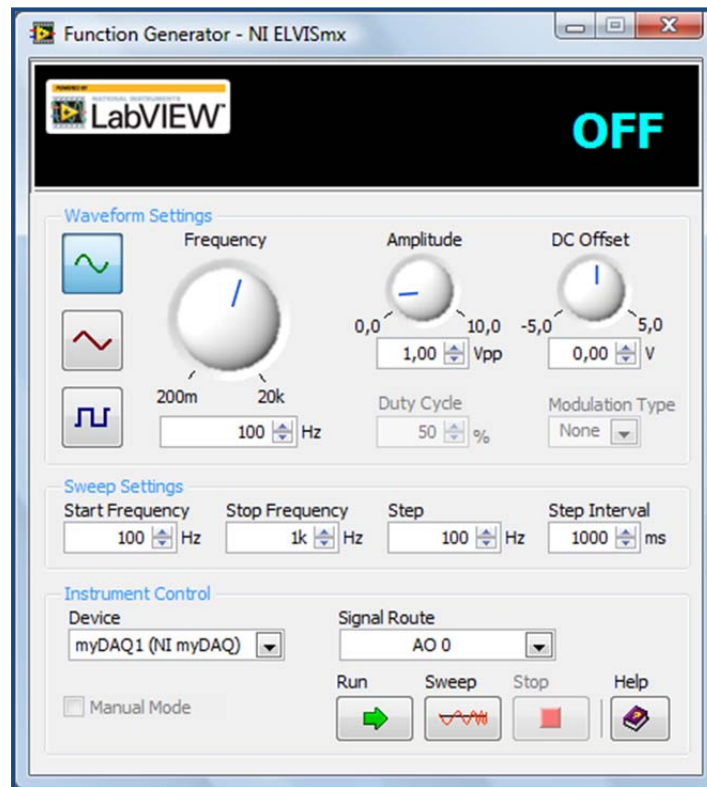


Ilustración 20: Generador de funciones

La sección de configuración de la forma de onda del generador panel frontal suave función ofrece tres tipos de formas de onda para elegir, y proporciona la frecuencia, ciclo de trabajo de amplitud, DC offset, y los ajustes de tipo de modulación.

Los tres tipos de forma de onda se pueden seleccionar haciendo clic en los iconos de la onda de señal, onda triangular o rectangular. La frecuencia, amplitud, y de compensación de CC de la señal se puede cambiar moviendo el botón de control correspondiente, o introduciendo directamente el valor deseado en el control por debajo de la perilla de control. El ajuste del ciclo de trabajo sólo está disponible para la salida de onda cuadrada. El control de tipo de modulación permite la selección de la frecuencia o modulación de amplitud, pero no está disponible con él NI MyDAQ.

Los ajustes de barrido del generador de funciones ELVISmx permiten pararla frecuencia de la señal de salida para ser cambiada cuando se ejecuta la salida de barrido.

Al dar los valores de la frecuencia de inicio, frecuencia de parada y paso se puede definir qué frecuencias serán de salida, y el número de pasos que habrá cuando se ejecuta la salida de barrido.

La sección de configuración de Control de Instrumentos del generador de función permite al usuario seleccionar qué dispositivo y la ruta de señal que utilizan para emitir una señal y si les gustaría correr continuamente, o para dar salida a una señal con la configuración del barrido de frecuencia a partir de los ajustes de barrido sección del panel frontal.

3.2.1.4. Fuente de alimentación variable (VPS)

El ELVISmx Fuente de alimentación variable NI (VPS) permite una tensión de salida del 0 al 12 V en la fuente de alimentación (+) y un voltaje de 0 a -12 V de la fuente de alimentación (-). El VPS también permite un barrido de salidas de tensión entre los dos empiezan preestablecido y tensiones de parada.

El VPS no está soportado por NI MyDAQ.

3.2.1.5. Analizador de Bode (Bode)

El NI ELVISmx Analizador de Bode (Bode) produce un diagrama de Bode para el análisis de señales. La función completa analizador de Bode crea la trama mediante la combinación de la función de barrido de frecuencia del generador de funciones y la capacidad de entrada analógica de la NI MyDAQ.



Ilustración 21: Analizador Bode

Las mediciones de la sección del panel frontal del analizador le proporcionan acceso al usuario al estímulo y los ajustes de canal de respuesta, el rango de barrido de frecuencia y tamaño de paso de las mediciones.

El canal de estímulo seleccionado debe ser conectado a la salida del generador de función, mientras que la respuesta de canal se conecta a la salida del circuito bajo prueba. El rango de barrido de frecuencia se ajusta mediante la combinación de la frecuencia de inicio, frecuencia de parada y el tamaño de paso por década. La amplitud máxima establece la amplitud máxima de la salida del generador de función mientras Op-Amp polaridad de señal específica la polaridad de la señal del amplificador operacional.

La Configuración del gráfico del panel frontal suave analizador de Bode permite al usuario cambiar la gráfica entre las escalas de visualización lineales y logarítmicas.

La sección de configuración de control de Instrumentos del analizador de Bode permite al usuario seleccionar el dispositivo que utilicen para realizar una medición.

3.2.1.6. Dynamic Signal Analyzer (DSA)

El NI ELVISmx Analizador de señal dinámica (DSA) realiza una transformada en dominio de frecuencia de una entrada analógica o la medición de forma de onda de entrada de audio. Esto permite un análisis de frecuencia de una entrada de tensión al NI MyDAQ.

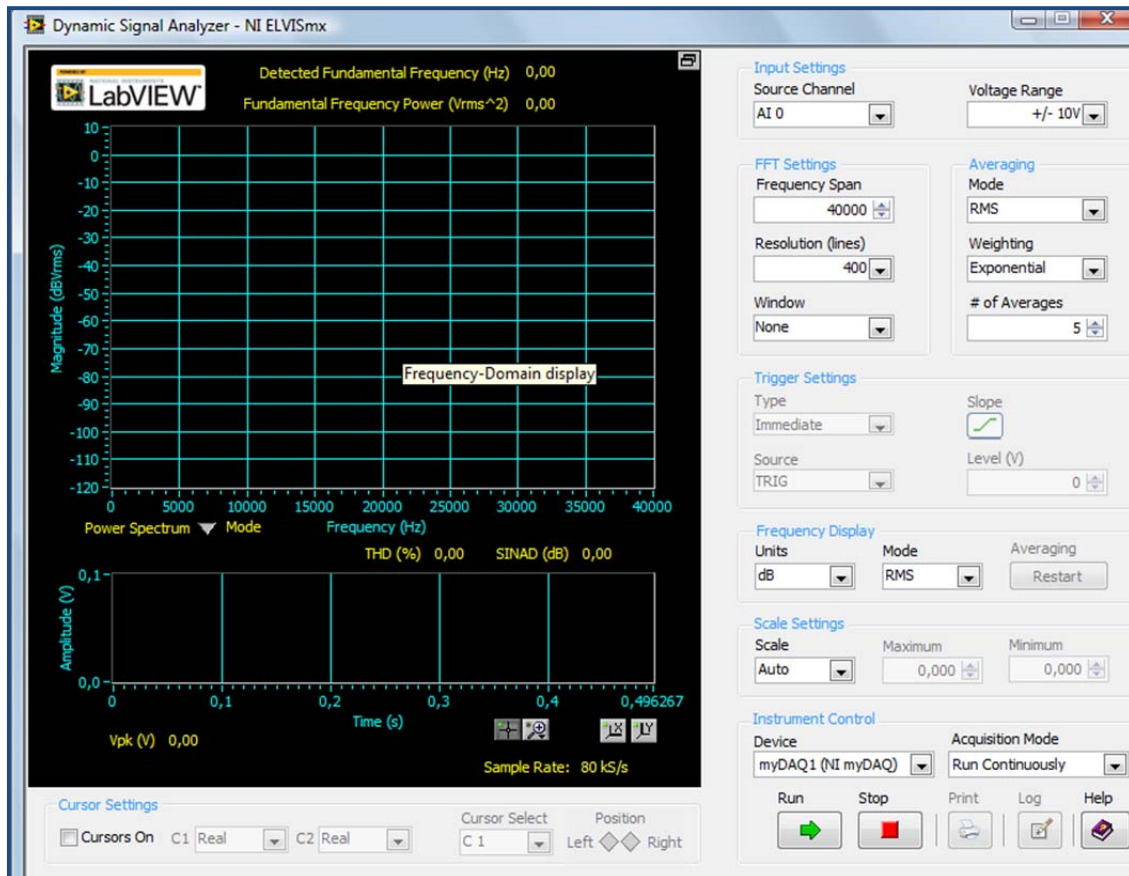


Ilustración 22: Dynamic Signal Analyzer

El NI ELVISmx Analizador de señal dinámica calcula y muestra el RMS promedio del espectro de potencia de un solo canal. Una variedad de ventanas y modos de promedio se puede aplicar a la señal. También detecta el componente de frecuencia de pico y estima la frecuencia real y la potencia.

La sección de configuración de entrada de la señal del analizador panel permite al usuario seleccionar qué canal de adquisición y de la gama de voltaje para ese canal.

La configuración FFT y la sección de la señal del analizador promedio permite al usuario personalizar la FFT y promediando realizaron en los datos adquiridos.

El margen de frecuencia, especifica el rango de medición que se inicia en DC y se extiende hasta el valor avanzado de frecuencia. La resolución determina la longitud del registro de dominio de tiempo y el número de muestras a ser adquiridos. El usuario especifica la ventana de tiempo-dominio para utilizar usando el menú desplegable de la ventana.

La visualización de la frecuencia y de la sección configuración de la escala de la señal del analizador panel frontal suave dinámico permite al usuario personalizar el gráfico de la pantalla. El usuario puede configurar las unidades mostradas en la gráfica de la magnitud, el modo de visualización y máximo del eje y los valores mínimos.

Cursores y mediciones de señal están disponibles para la realización de análisis de señales.

La sección de configuración de Control de Instrumentos del analizador de señal dinámica permite al usuario seleccionar el dispositivo a utilizar para emitir una señal y si se quiere activar de modo continuo, o un disparo. Esta sección también tiene botón de parada y un enlace a la sección de ayuda para el generador de la función en el NI ELVISmx ayuda.

3.2.1.7. Generador de onda arbitraria (ARB)

El Generador de forma de onda arbitraria ELVISmx NI (ARB) genera señales de tensión que utilizan las capacidades de salida analógica de NI MyDAQ. Puede crear y cargar una gran variedad de tipos de señales en el ARB con el software NI Editor de forma de onda.

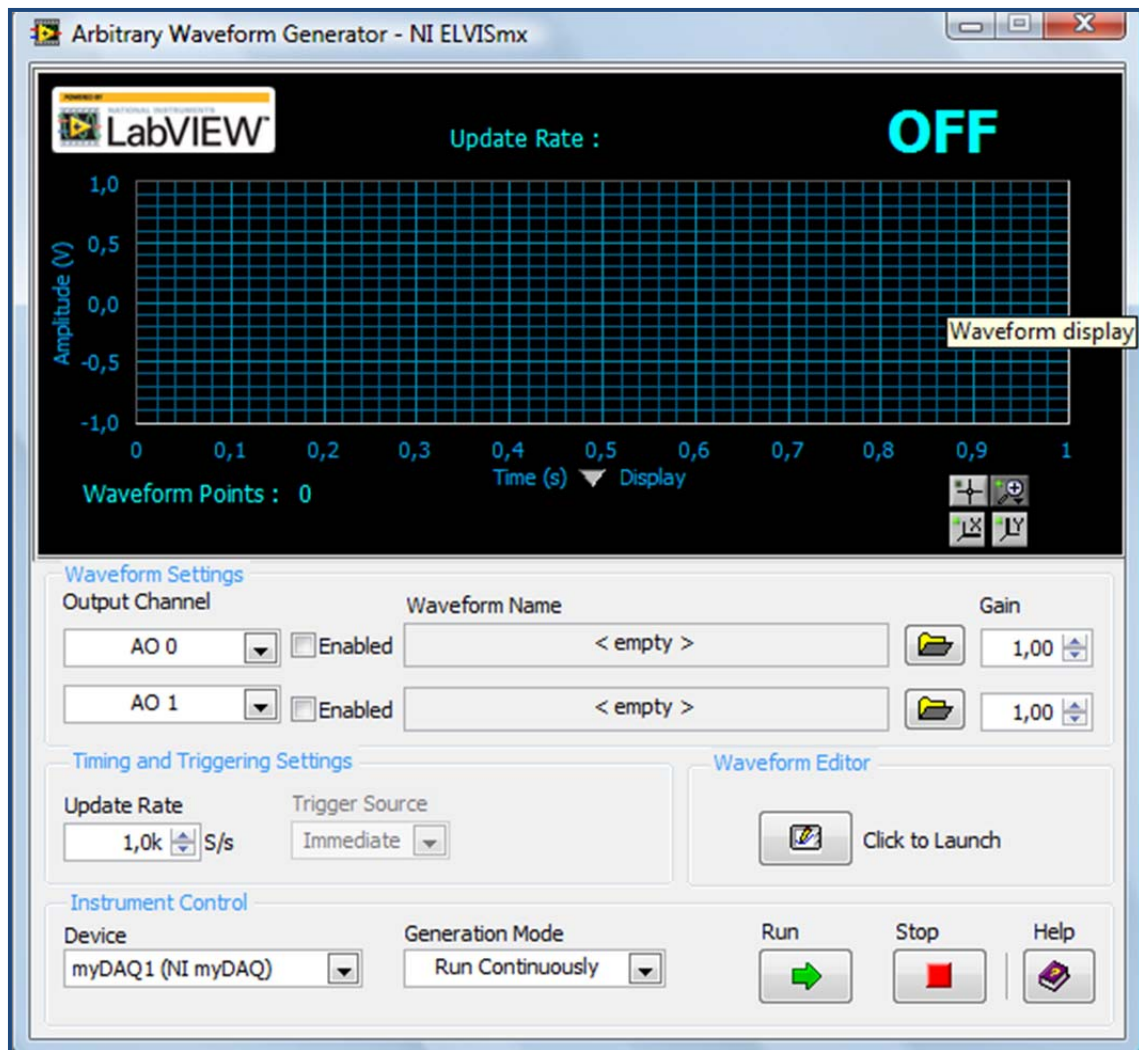


Ilustración 23: Generador de onda arbitraria

La sección de configuración de la forma de onda del generador panel permite al usuario seleccionar qué forma de onda de archivo se utiliza para generar una señal en cada canal de salida. Se pueden seleccionar archivos separados para los diferentes canales de salida.

La sección de configuración del generador de panel frontal permite al usuario seleccionar el tipo de generación, en número de muestras por segundo. Además de la velocidad de actualización se puede establecer el origen del disparo externo. Puede seleccionar inmediatos ni líneas PFI disponibles.

La sección Editor de forma de onda del generador de forma de onda arbitraria permite al usuario iniciar la aplicación Editor de forma de onda. El Editor de forma de onda NI ofrece la capacidad de drenaje de la mano de onda, construida en forma de onda y una utilidad de importación.

La sección de configuración de control de instrumentos del generador de forma de onda arbitraria permite al usuario seleccionar el dispositivo a utilizar para emitir una señal y si se quiere hacer en modo continuo, o una vez. Esta sección también tiene botón de parada y un enlace a la sección de ayuda para el generador de la función en el NI ELVISmx ayuda.

3.2.1.8. Lector Digital (DigIn)

El Lector Digital de ELVISmx NI (DigIn) lee los datos digitales de las líneas digitales en el NI MyDAQ. El lector digital puede leer de cuatro a ocho de las líneas digitales a la vez.

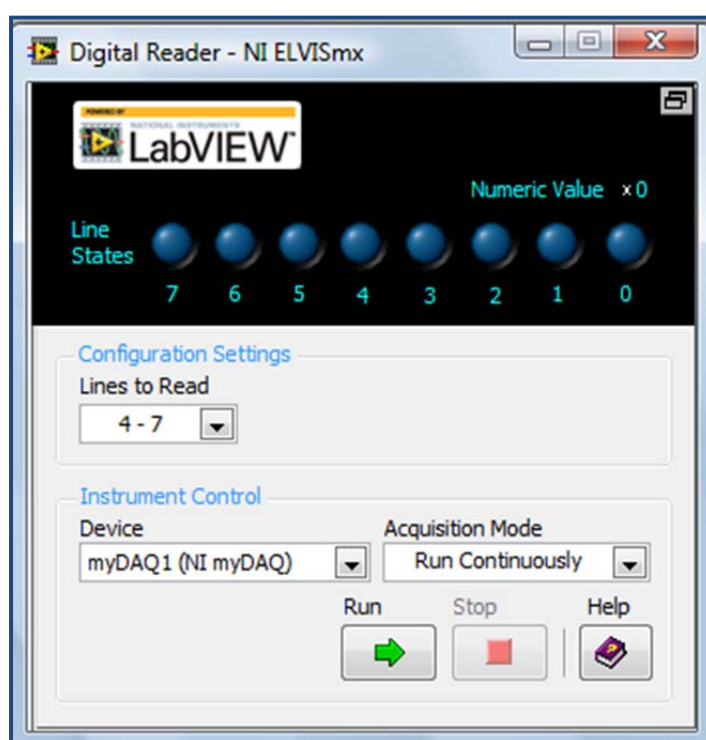


Ilustración 24: Lector Digital

La pantalla Digital Reader muestra los estados de la línea de las entradas digitales se leen de la NI MyDAQ. Cada uno de los ocho indicadores LED estado de línea se enciende (azul brillante) si la línea está leyendo es alta (entre 2 V y 5V) o se apaga (azul oscuro) si la línea es baja (entre 0 V y 0,8 V). La pantalla también le da el valor numérico del puerto digital se está leyendo.

Es necesario tener en cuenta que el valor numérico se da en representación hexadecimal, y que un dígito hexadecimal representará líneas 4-7 y un segundo dígito representará líneas 0-3. Si se leen sólo cuatro líneas del puerto digital, a continuación, el valor

numérico será un solo carácter hexadecimal calculado a partir de sólo las 4 líneas digitales que se utilizan.

Los ajustes de configuración para el ELVISmx Lector Digital contienen una sola entrada, y permiten al usuario seleccionar qué líneas hay que leer desde el puerto digital del lado de la unidad MyDAQ NI. Las opciones disponibles son: 0-3, 4-7 y 0-7.

Tenga en cuenta que las líneas digitales que se están leyendo con el ELVISmx Lector Digital serán reservadas, mientras que el lector digital está en funcionamiento, y no estarán disponibles para el escritor ELVISmx digital, o para cualquier otro programa. Para utilizar el ELVISmx lector digital y escritor digital, al mismo tiempo, utilizar líneas 0-3 para uno de los instrumentos, y las líneas 4-7 de la otra.

La sección de configuración de Control de Instrumentos del lector digital permite al usuario seleccionar el dispositivo que se está utilizando para realizar la medición y si se quiere adquirir una única muestra o adquirir continuamente.

La selección de dispositivo de caja de selección situada abajo permite a un usuario seleccionar cualquier unidad MyDAQ que esté conectado al sistema.

3.2.1.9. Escritor Digital (DigOut)

El ELVISmx Escritor Digital NI (DigOut) escribe datos digitales para las líneas digitales en el NI MyDAQ. El Escritor digital puede escribir en cualquiera de cuatro u ocho de las líneas digitales a la vez.

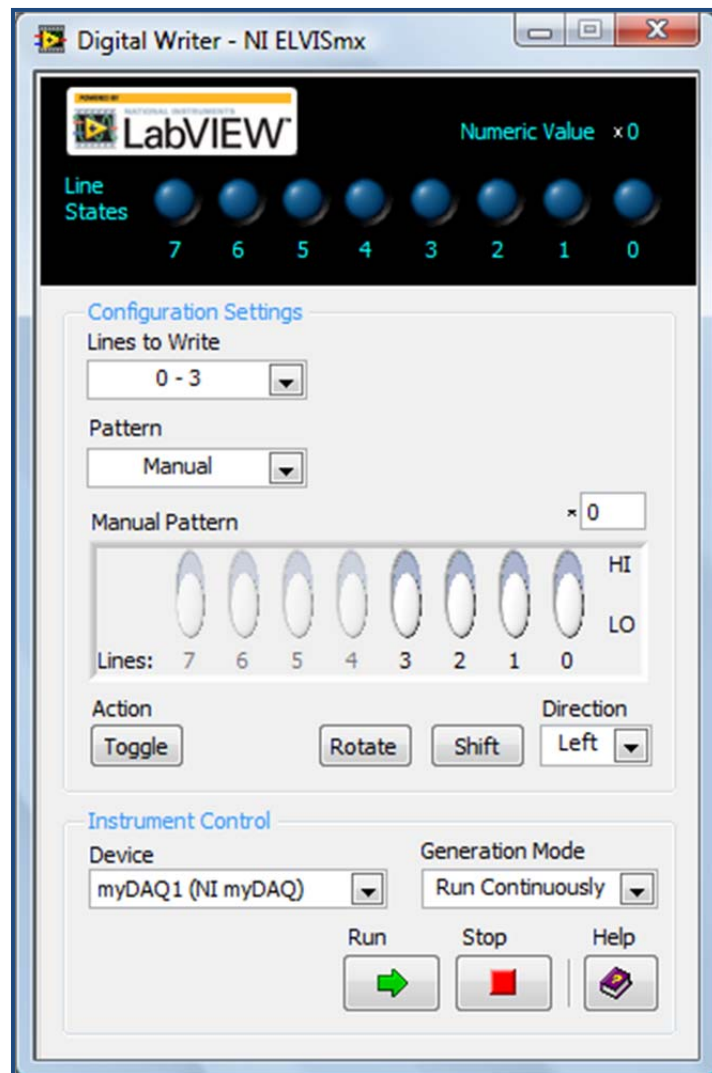


Ilustración 25: Escritor Digital

El NI ELVISmx escritor Digital permite que los datos digitales que se escriben en las líneas digitales NI MyDAQ.

La pantalla escritor Digital muestra los estados de línea de salidas digitales que se producen desde el MyDAQ NI. Cada uno de los ocho indicadores LED estado de línea se enciende (azul brillante) si la línea está escrita es alta (3,3 V) o se apaga (azul oscuro) si la línea es baja (0 V). La pantalla también le da el valor numérico del puerto digital está escrito.

Tenga en cuenta que el valor numérico se da en representación hexadecimal, y que un dígito hexadecimal representará líneas 4-7 y un segundo dígito representará líneas 0-3. Si tan sólo cuatro líneas del puerto digital se escriben, entonces el valor numérico será

un solo carácter hexadecimal calculado a partir de sólo las 4 líneas digitales que se utilizan.

Los ajustes de configuración para el Escritor Digital ELVISmx incluyen entradas para la selección de las líneas digitales que escribir, qué tipo de patrón para la producción, y qué modelo de manual para usar. Cuando se utiliza un modelo manual de los ajustes de configuración también proporciona botones para alternar, rotación o cambio de los bits en el patrón.

Las líneas para escribir selección permite al usuario seleccionar qué líneas para escribir en el puerto digital en el lado de la unidad de NI MyDAQ. Las opciones disponibles son: 0-3, 4-7 y 0-7. Tenga en cuenta que las líneas digitales que se están escribiendo para el uso del escritor Digital ELVISmx se reservarán mientras que el escritor digital está en funcionamiento, y no estarán disponibles para el ELVISmx Digital Reader o cualquier otro programa. Para utilizar el escritor Digital ELVISmx y Reader Digital al mismo tiempo, utilizar las líneas 0-3 para uno de los instrumentos y las líneas 4-7 de la otra.

La caída de patrón de caja en el suelo permite el uso de un manual, la rampa (0-255) y alternancia 1/0.

La opción patrón manual emite el patrón dado en la sección patrón manual, cosa que se puede configurar pulsando los interruptores para activar cada bit individual, o escribiendo un valor hexadecimal en el control numérico número de patrón. Mientras que en el modo de patrón manual, el botón cambiar se puede utilizar para cambiar los bits están escritos por el escritor digital. El girar y botones de cambio también se puede utilizar para llevar a cabo el modelo de manual, y girarán los bits en la dirección elegida, o desplazar los bits en la dirección elegida al rellenar con 0 valores desde el extremo opuesto.

El patrón de rampa cambia continuamente las salidas digitales, contando a partir de 0. Si se utilizan todos los 8 bits, el patrón será contar hasta 255. Si sólo se utilizan los bits 4, el patrón será contar hasta 16 antes de comenzar de nuevo a 0.

El patrón alterna 1/0 se alternará de 1 y 0 por medio de los bits de la salida y luego alternar los bits de una vez. Esto da lugar a los bits se emiten el valor hexadecimal A, seguido por el valor 5 en cada uno de los 4 bits del puerto digital. Si el escritor Digital se está ejecutando de forma continua, los bits continuarán alternar entre las salidas hexadecimales de A y 5.

El patrón de la marcha de 1 comenzará con todas las líneas digitales son iguales a cero, excepto el dígito menos significativo. El escritor Digital se desplazará el verdadero valor solo del dígito menos significativo hacia la línea de un dígito más significativo a la vez.

La sección de configuración de control de instrumentos del Escritor digital permite al usuario seleccionar qué dispositivo están los valores digitales de salida y si les gustaría generar una muestra o una generación continua.

Tenga en cuenta que, independientemente del modo de generación, la salida de la NI ELVISmx escritor Digital se quedará en la NI MyDAQ hasta que se genera otro patrón, las líneas digitales se configuran para leer, o active la energía eléctrica en el NI MyDAQ.

3.2.1.10. Analizador de impedancia (impedancia)

Las medidas NI ELVISmx Analizador de impedancia muestran la magnitud y la fase de un circuito conectado a las líneas de entrada del analizador de impedancia, DUT + y DUT-. El analizador también muestra la impedancia de la resistencia y la reactancia.

Este elemento no está soportado por NI MyDAQ.

3.2.1.11. Analizador de dos hilos de corriente-voltaje (2 cables)

El NI ELVISmx Analizador de dos hilos de corriente-tensión (2 cables) crea una curva de corriente versus voltaje de dos hilos. El 2-Wire es capaz de medir señales de corriente versus voltaje de ± 10 V y ± 40 mA para un circuito conectado a los terminales DUT + y DUT-.

Este elemento no está soportado por NI MyDAQ.

3.2.1.12. Analizador de tres hilos corriente-voltaje (3 cables)

El NI ELVISmx Analizador de tres hilos de corriente-voltaje (3 cables) crea una curva de corriente versus voltaje de tres hilos de NPN y PNP transistores BJT. Es capaz de mostrar señales dentro de 0 a 10 V para el voltaje de colector y ± 40 mA para la corriente de colector.

Este elemento no está soportado por NI MyDAQ.

3.2.2. National Instruments LabVIEW software gráfico de desarrollo

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) es un lenguaje de programación gráfico que utiliza iconos en lugar de líneas de texto para crear aplicaciones. Es decir es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico.



Ilustración 26: Labview 2012

Creado por National Instruments en 1976, es ampliamente utilizado en sistemas de pruebas, medición, control y diseño, pues permite la creación de un entorno simulado y de medición.

A diferencia de los lenguajes de programación basados en texto, donde las instrucciones determinan la ejecución del programa, LabVIEW utiliza la programación de flujo de datos, donde el flujo de datos determina la ejecución.

Una de sus principales ventajas es la facilidad de uso, pues al ser un entorno gráfico es válido para programadores con pocos conocimientos en programación y que pueden hacer programas relativamente complejos, que serían muy laboriosos de realizar con lenguajes de programación convencionales.

Labview está disponible para las plataformas Windows, UNIX, MAC y GNU/Linux.

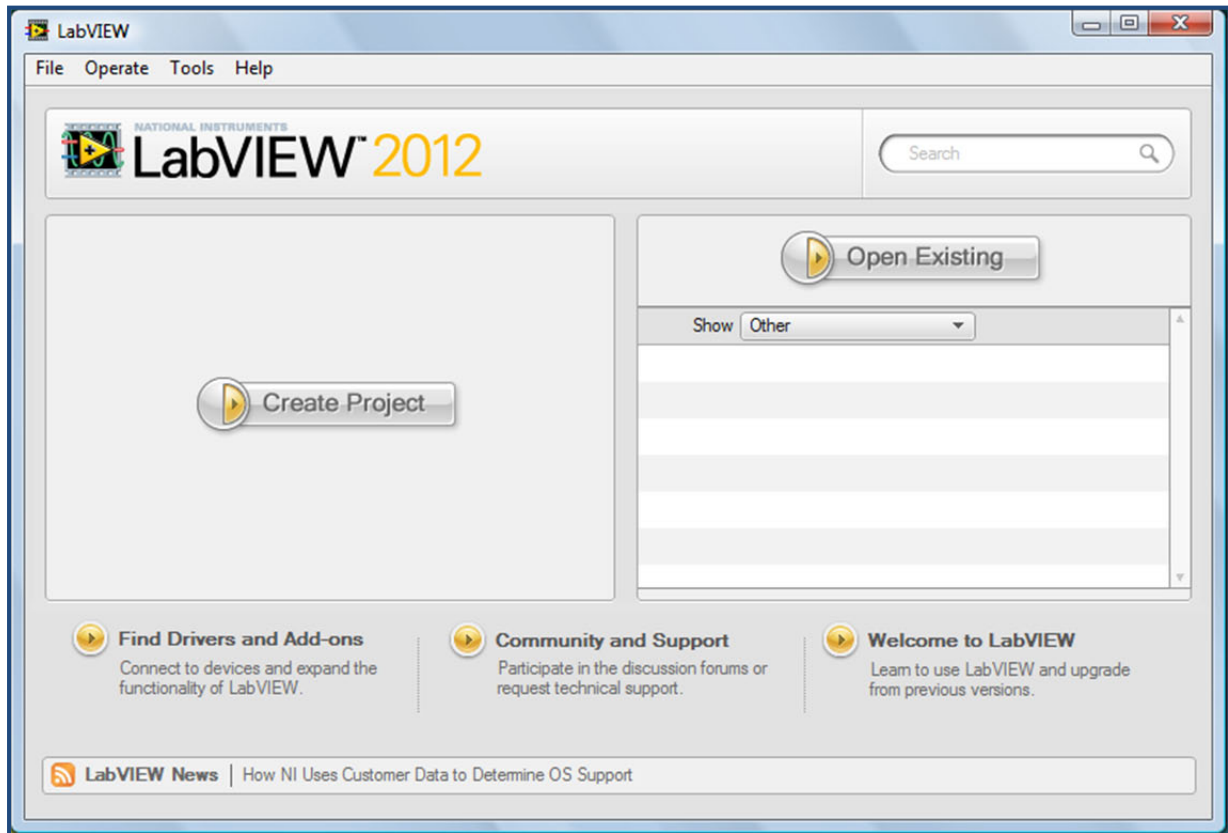


Ilustración 27: Creación de un programa con Labview

En LabVIEW a la hora de crear un programa se distinguen dos apartados claramente diferenciados, el panel de control que se construye como una interfaz de usuario con un conjunto de herramientas y objetos y el diagrama de bloques que contiene el código del programa.

Los programas desarrollados con LabVIEW se llaman Instrumentos Virtuales, o VI, y su función principal es la del control de instrumentos, aunque hoy en día se ha expandido ampliamente no sólo al control instrumentación electrónica sino también a su programación para la realización de mediciones.

Los programas de LabVIEW son denominados Instrumentos Virtuales debido a que su apariencia y funcionamiento imitan instrumentos físicos, tales como osciloscopios y multímetros. Cada VI utiliza funciones que manipulan de entrada de la interfaz de usuario o de otras fuentes y mostrar que la información o moverlo a otros archivos u otros ordenadores.

Un VI contiene los siguientes tres componentes:

- ✓ Panel frontal que sirve como interfaz de usuario.
- ✓ Diagrama de bloques que contiene el código fuente gráfico que define el la funcionalidad del instrumento virtual.
- ✓ Icono y Conector panel que identifica el VI para que pueda utilizar el VI en otro VI.
- ✓ Un VI dentro de otro VI se llama un subVI. Un subVI corresponde a una subrutina en lenguajes de programación basados en texto.

Como se ha dicho LabVIEW es una herramienta gráfica de programación, esto significa que los programas se implementan situando interfaces o subprogramas, hecho que facilita la comprensión de los mismos y la resolución de posibles problemas. Existen gran cantidad de VI realizados, lo que facilita al usuario la creación de un proyecto pues gran parte del código que utilizara en su programa se encuentra desarrollado ya y lo que permite al usuario no ser un experto programador y dedicar más tiempo a la interfaz gráfica y la interacción con el usuario final.

Entre los objetivos principales de LabVIEW están el reducir el tiempo de desarrollo de aplicaciones de todo tipo, no sólo en ámbitos de pruebas sino de control y diseño, y el permitir la entrada a la informática a profesionales de cualquier otro campo.

La principal ventaja de LabVIEW es que permite combinar todo tipo de software y hardware, tanto del propio fabricante como de otros fabricantes.

Como hemos indicado a la hora de trabajar con LabVIEW nos encontramos con dos elementos bien diferenciados:

3.2.2.1. El Panel Frontal:

El panel de control es en la interfaz donde el usuario interactuara con el programa y donde se encuentran las representaciones graficas de las mediciones y se utiliza cuando el usuario necesita interactuar con el programa que se está ejecutando.

En él panel frontal los usuarios pueden observar las variables que va ofreciendo el programa y que se actualizan en tiempo real. Es en esta interfaz donde se definen los controles que se usan como entradas, que pueden ser de diferentes tipos y también los indicadores que se definen como salidas y que suelen ser salidas de datos o gráficas.

En el panel frontal, encontraremos todo tipo de controles o indicadores, donde cada uno de estos elementos tiene asignado en el diagrama de bloques una terminal, es decir el usuario podrá diseñar un proyecto en el panel frontal con controles e indicadores, donde estos elementos serán las entradas y salidas que interactuaran con la terminal del VI.

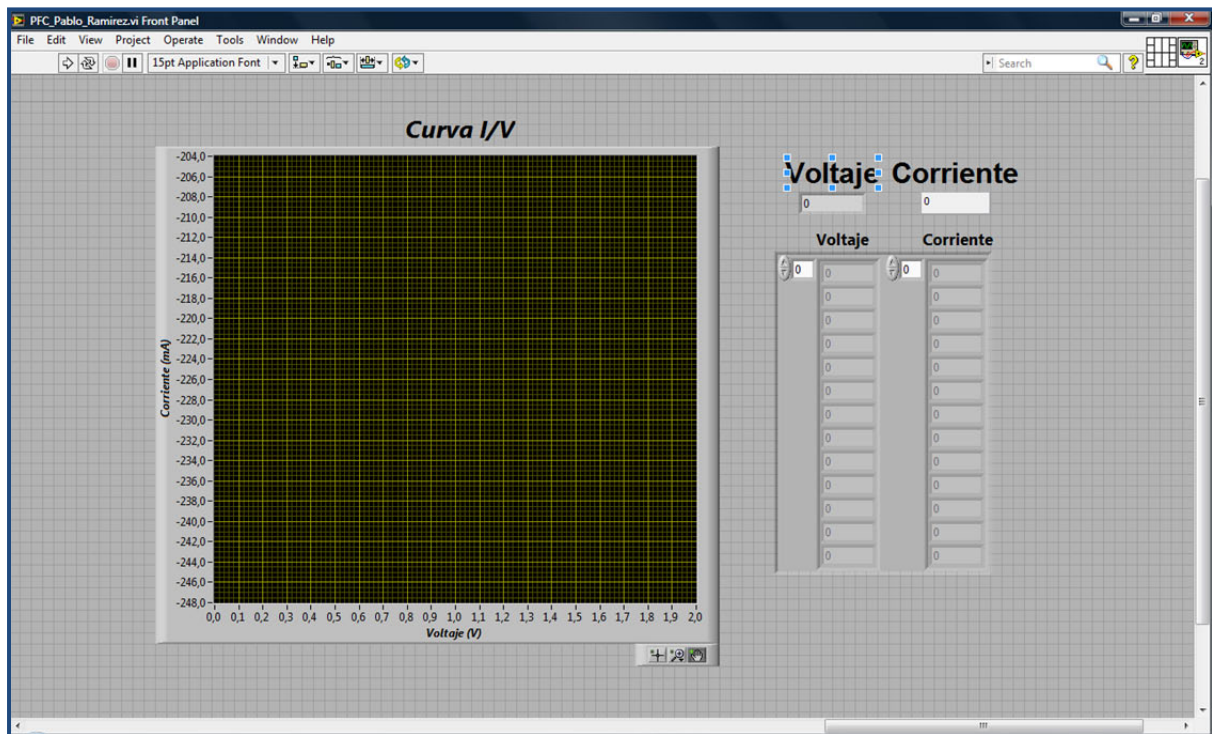


Ilustración 28: Panel de Control Labview

Se puede construir el panel frontal con controles e indicadores, que son los medios de entrada y terminales de salida del VI, respectivamente.

Los controles son botones, diales y otros dispositivos de entrada. Los controles simulan dispositivos de entrada del instrumento y suministran datos al diagrama de bloques de la VI.

Los indicadores son los gráficos, LEDs y otras pantallas. Los indicadores simulan instrumentos dispositivos de salida y entregan los datos que el diagrama de bloques adquiere o genera.

Se pueden configurar los controles del panel frontal o indicadores para que aparezcan como icono o como diferentes tipos de terminales de datos en el diagrama de bloques. De forma predeterminada, los objetos del panel frontal aparecen como terminales icono.

3.2.2.2. Diagrama de Bloques:

El diagrama de bloques es donde se agrega el código de programa utilizando representaciones gráficas de funciones para controlar los objetos del panel frontal. Es el programa propiamente en sí, donde se crean y definen las funciones que realizará el programa.

Para la realización de un programa se van colocando VI que realizan una determinada función y se interconectan entre sí con otros Vis de forma gráfica mediante hilos de interconexión. Por su parte el diagrama de bloques de cada objeto contiene el código en el que se describen las funciones del mismo.

De alguna manera, el diagrama de bloques se asemeja a un diagrama de flujo donde se indica el desarrollo del programa.

Los VI se albergan en librerías desde donde pueden ser llamados para la ejecución en un determinado programa.

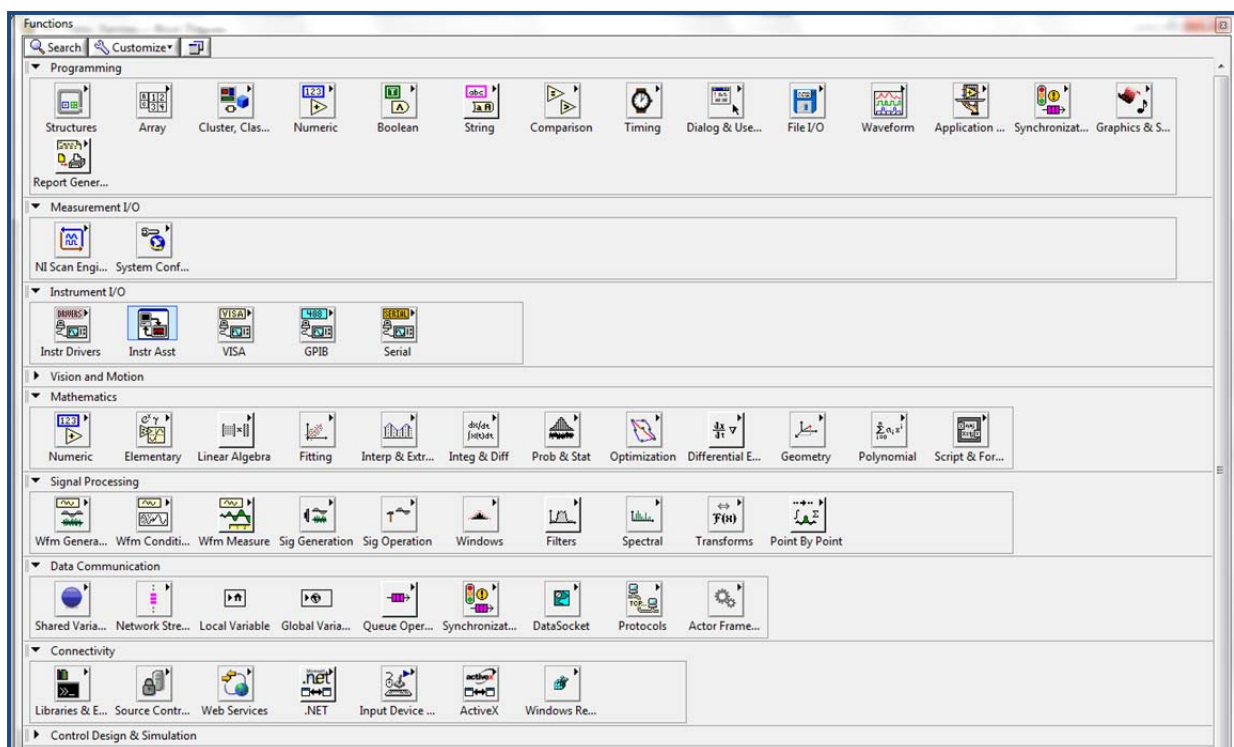


Ilustración 29: Tipos de funciones a implementar en LabVIEW

Cuando se va ejecutando un VI podemos observar en el diagrama de bloques, como van implementándose todos los valores de los controles e indicadores mientras se está ejecutando un programa VI.

Los objetos representados en el panel frontal aparecen como terminales en el diagrama de bloques pues es el diagrama bloques el que contiene el código fuente gráfico. Los terminales representan el tipo de control o el indicador de datos de los VI.

Los terminales son puertos de entrada y salida para el intercambio de información entre el panel frontal y diagrama de bloques. Los datos que se introducen en el panel frontal entran en el diagrama de bloques a través de los terminales de control.

Los datos se ingresan al diagrama de bloques y cuando este completa sus cálculos internos genera nuevos valores de datos. El flujo de datos va los terminales de indicador, en donde salen del diagrama de bloques y se vuelven a introducir el panel frontal.

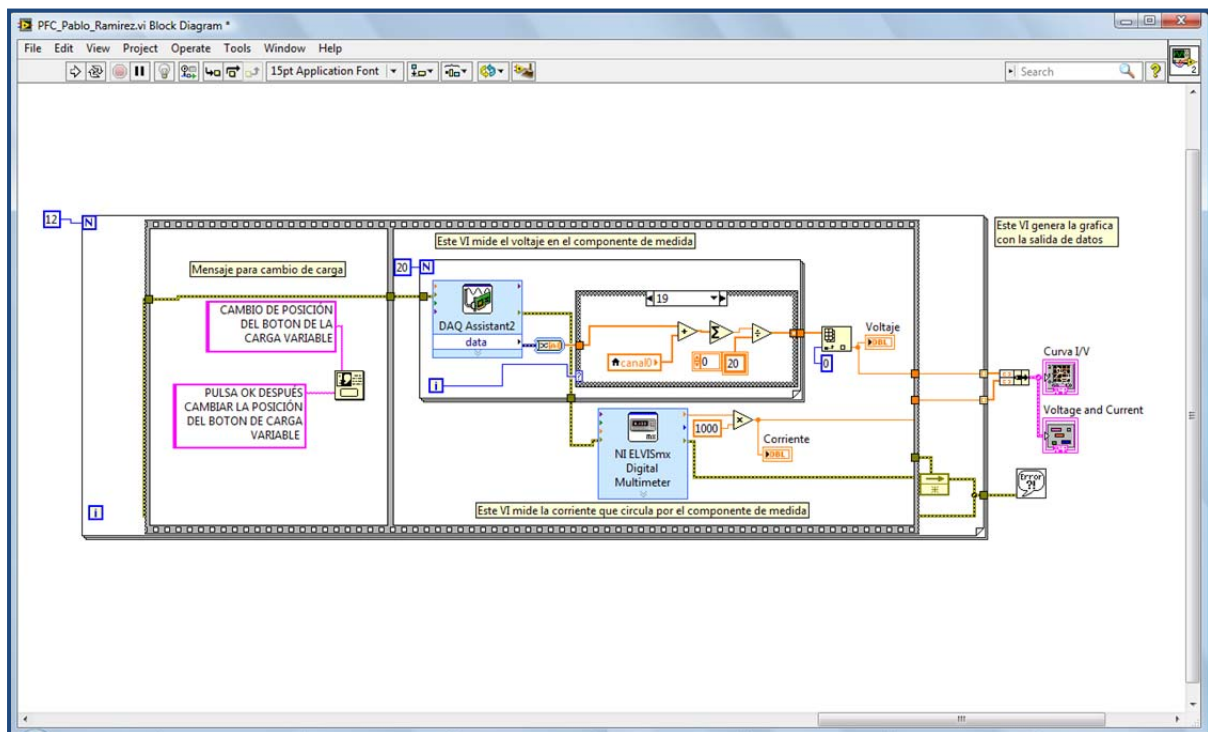


Ilustración 30: Diagrama de Bloques LabVIEW

Los nodos son los objetos en el diagrama de bloques que tienen entradas y salidas y realizan operaciones cuando se ejecuta un VI. Son análogos a los estados operadores, funciones y subrutinas de programación basados en texto.

Los datos entre los objetos se transfieren en el diagrama de bloques a través de una única conexión y cada conexión tiene una única fuente de datos, pero estas a su vez se pueden conectar a muchos VIs y funciones que leen sus datos. Las conexiones pueden ser de colores diferentes, estilos y grosores, dependiendo de sus tipos de datos. Una

conexión aparece rota cuando aparece como una línea discontinua negro con una X roja en el centro.

Las estructuras son las representaciones gráficas de los bucles y de las sentencias de caso de los programas basados en lenguajes de programación de texto. Se pueden utilizar las estructuras en el diagrama de bloques para repetir bloques de código y ejecutar código de forma condicional o en un determinado orden.

De las explicaciones anteriores podemos deducir que la generación de programas de medición en LabVIEW se realiza de forma gráfica mediante la unión de diferentes subrutinas.

3.2.2.3. Uso de Labview para la toma de medidas

Uno de los beneficios más grandes de usar Labview para personalizar la funcionalidad y visualización de un sistema de medidas es su alto grado de manejabilidad.

La realización de medidas es un proceso manualmente costoso, lento y propenso a errores. Si aplicamos los sistemas definidos por software para la realización de las mismas vemos que estas se realizan rápidamente, consistentemente y de forma continuada.

La ventaja del software LabVIEW es que ofrece una sola interfaz de programación para los dispositivos, resultando así una completa integración de hardware y software. De esta forma es posible automatizar medidas desde varios dispositivos, analizar datos en paralelo con adquisición y crear reportes personalizados.

Otra de las ventajas de LabVIEW es que permite abstraerse de gran parte de la complejidad administrativa de la programación como la asignación de memoria y la sintaxis del lenguaje. Las bibliotecas integradas de software específico para ingeniería permiten la adquisición, análisis, control y compartir datos, permitiendo la realización de programas sencillos por parte de cualquier tipo de usuario con unos mínimos conocimientos de programación.

Al disponer de muchos componentes software prediseñados no es necesario crear el sistema de mediciones desde cero pues se pueden usar las funciones integradas de LabVIEW Express y programas ejemplo. Las funciones exprés permiten programar usando ventanas interactivas y menús desplegables simples y realizan una guía paso a paso durante la configuración.

LabVIEW también incluye varios programas ejemplo que permiten ejecutar las tareas de medidas más comunes, desde las medidas más simples de un solo canal para temporización, hasta mediciones de sincronización avanzadas entre múltiples dispositivos. Estos programas permiten crear una fácil automatización en la medición de voltaje, corriente, temperatura, tensión, sonido y otro tipo de medidas de sensor.

Además de programas para medición LabVIEW incluye multitud de funciones avanzadas de análisis creadas especialmente para las funciones científicas y de ingeniería. Todos los programas prediseñados disponen de los archivos y documentación de ayuda detallados.

Gracias a disponer de programas ya diseñados se puede realizar de forma sencilla el procesamiento de señales avanzado tales como, análisis de frecuencia; probabilidad y estadísticas, ajuste de curvas, interpolación, procesamiento digital de señales, etc...

Con las funciones ya prediseñadas se puede crear rápidamente un VI usando cientos de controles, gráficas y herramientas de visualización. Los elementos VI, prediseñados para su uso en mediciones, funcionan con diferentes tipos de datos adquiridos y analizados sin necesidad de readaptar el formado ni siendo necesario un desarrollo personalizado para cada programa diseñado.

Una vez adquiridos los datos es relativamente fácil hacer un guardado de los mismos a disco o crear reportes personalizados con solo llamar una función ya implementada. LabVIEW funciona con aplicaciones de hojas de cálculo como Microsoft Excel, incluso se pueden usar como origen de datos o para anexar información representativa a sus medidas, haciéndolas más fácil de consultar.

Todas estas ventajas hacen del programa LabVIEW un referente en los sistemas de medición frente a lenguajes de programación como C, destacando sobre estos en su facilidad de uso y su orientación a la programación de señales de medición, siendo el lenguaje de programación idóneo para construir un sistema de medición.

3.2.2.4. Requerimientos del sistema para el uso de LabVIEW

A continuación se especifican los requisitos del sistema para una instalación de LabVIEW en un ordenador personal:

Sistema Operativo Windows

	Entorno de pruebas	Entorno de desarrollo
Procesador	Pentium III/Celeron 866 MHz o equivalente	Pentium 4/M o equivalente
Memoria RAM	256 MB	1 GB
Resolución de pantalla	1024 x 768 píxeles	1024 x 768 píxeles
Sistema operativo	Windows 8/7/Vista (32 bits y 64 bits) Windows XP SP3 (32 bits) Windows Server 2003 R2 (32 bits) Windows Server 2008 R2 (64 bits)	Windows 8/7/Vista (32 bits y 64 bits) Windows XP SP3 (32 bits) Windows Server 2003 R2 (32 bits) Windows Server 2008 R2 (64 bits)
Espacio en disco	353 MB	3.67 GB (Incluye controladores predeterminados del DVD de Controladores de Dispositivos de NI)

Tabla 6: Especificaciones LabVIEW para SO Windows

Sistema Operativo MAC OS X		
	Entorno de pruebas	Entorno de desarrollo
Procesador	Procesador basado en Intel	Procesador basado en Intel

Memoria RAM	1 GB	1 GB
Resolución de pantalla	1024 x 768 píxeles	1024 x 768 píxeles
Sistema operativo	Mac OS X 10.7 o 10.8	Mac OS X 10.7 o 10.8
Espacio en disco	120 MB	1.2 GB para la instalación completa (excluyendo controladores)

Tabla 7: Especificaciones LabVIEW para MAC OS X

Sistema Operativo Linux		
	Entorno de pruebas	Entorno de desarrollo
Procesador	Pentium III/Celeron 866 MHz o equivalente	Pentium 4/M o equivalente
Memoria RAM	256 MB	1 GB
Resolución de pantalla	1024 x 768 píxeles	1024 x 768 píxeles
Sistema operativo	Linux kernel 2.2x, 2.4x, 2.6x o 3.x y GNU C Library (glibc) Versión 2.4.4 para la arquitectura Intel x86 La Guía de Instalación de LabVIEW omite de un modo	Red Hat Enterprise Linux Desktop + Workstation 5 o 6, open SUSE 11.4 o 12.1 o Scientific Linux 6

	incorrecto Linux kernel 3.x de esta lista.	
Espacio en disco	115 MB	1.1 GB para la instalación completa (excluyendo controladores). La Guía de Instalación de LabVIEW enlista de un modo incorrecto un requerimiento de espacio de disco de 900 MB

Tabla 8: Especificaciones LabVIEW para SO Linux

3.3. Sistema de carga

Para poder realizar la curva I-V de una célula fotovoltaica con el equipamiento diseñado es necesario variar de forma progresiva la carga a la que se encuentra conectada la misma de forma que la tensión en bornas de la misma varíe y por ende también la corriente creando así la curva que mide la relación entre una determinada tensión y una determinada corriente.

Conociendo las especificaciones de las células solares es sencillo obtener una serie de valores de carga sobre los que realizar las mediciones. Estos valores dependerán de la célula a medir, y se establecerán de modo que en la zona de corriente lineal se tomaran menos medidas, y se concentrarán las medidas sobre el cambio de pendiente donde se produce el punto de máxima potencia, de este modo con menos puntos conseguimos obtener una curva I-V bastante aproximada a la que ofrecería un sistema de laboratorio donde los puntos de medida en tensión fuesen equidistantes.

Como es necesario encontrar un compromiso entre portabilidad y precisión siendo este el principal objetivo de este proyecto para la elección de la carga variable se decidió crear un dispositivo a medida de bajo coste y portátil que permitiera obtener los valores de forma relativamente precisa en un tamaño contenido.

Con las premisas anteriores se optó por un diseñar una carga variable que permitiera seleccionar doce posiciones con cargas diferentes de forma que con los valores obtenidos en la medición de sus doce posiciones con diferentes cargas se pudiera obtener una curva I-V de forma relativamente precisa.

Sabiendo que disponíamos de doce posiciones comenzamos el estudio para seleccionar aquellas que fuesen más adecuadas para cubrir el mayor rango posible de condiciones. También disponíamos de las especificaciones de la célula solar y conocíamos que tendríamos un valor máximo de tensión en torno a 4,9 Voltios, sabiendo por otro lado que los valores de corriente sobre la misma no variarían mucho hasta los 3 Voltios y que era a partir de este valor y hasta los 4,9 Voltios donde residían los principales valores a medir.

A continuación se muestra una tabla con las cargas resistivas que debía disponer cada posición del conmutador:

Posiciones Carga Variable	
<i>Posición</i>	<i>Resistencia</i>
1	Cortocircuito
2	5 Ω
3	8,5 Ω
4	9,4 Ω
5	10,4 Ω
6	11,2 Ω
7	12,3 Ω
8	13,9 Ω
9	16,7 Ω

10	23,7 Ω
11	40 Ω
12	1,5 MΩ

Tabla 9: Posiciones Carga Variable

Una vez observadas todas las premisas y obtenidos los valores de las diferentes posiciones se diseñó la carga variable con un interruptor de doce posiciones y doce resistencias que conectadas en serie se fuesen sumando para obtener los valores de compromiso seleccionados. El conectar resistencias en serie hace que la potencia se reparta entre todas ellas, y de ese modo que el autocalentamiento de las resistencias sea despreciable.

La razón por la que se decidió utilizar las resistencias en serie en vez utilizar cada resistencia de un valor fue para obtener mejor el rendimiento de las mismas y minimizar así la disipación de potencia en las mismas, pues de esta forma los valores que se utilizaban de resistencias eran valores bajos que se iban sumando a los anteriores. Por esta misma razón también se eligieron la mayoría de las resistencias de 2 vatios que permitieran una disipación mejor de la potencia y no distorsionaran así los resultados.

De esta forma se utilizaron resistencias de los siguientes valores: 1 Ω , 1,5 Ω , 3,3 Ω 5,7 Ω , por último se utilizó una resistencia de 1,5 M Ω que simulara un circuito abierto.

A continuación podemos observar la carga variable implementada con las resistencias y el interruptor de doce posiciones:



Ilustración 31: Arquitectura de la carga variable

3.4. Mini-módulo Fotovoltaico

Para la toma de medidas, que permitan la valoración del sistema como un sistema de medida de dispositivos portátil, durante la fase de pruebas se utilizara como simulador de un panel fotovoltaico una célula solar del fabricante **SPC Multicomp** modelo **MC-SPO.8-NF-GCS - SOLAR PANEL, 0.8W, 4V**.

Esta célula solar dispone de las siguientes especificaciones según el fabricante:

- ✓ Alta eficiencia.
- ✓ Vidrio templado transparente.
- ✓ Soportes de alta presión contra viento y cargas de nieve
- ✓ Excelente rendimiento con poca luz.
- ✓ DC nominal de salida estándar.
- ✓ Protección contra congelación del agua y deformaciones
- ✓ Módulos fotovoltaicos que han pasado las pruebas siguientes.
 - Prueba de ciclo térmico.
 - Prueba de choque térmico.

- Térmica/congelamiento y humedad elevada.
- Prueba de aislamiento eléctrico.
- Prueba de impacto.
- Mecánica, el viento y la prueba de giro de carga.
- Prueba de niebla salina.
- Luz y prueba de exposición al agua.
- Prueba de exposición al campo.

3.4.1. Especificaciones Técnicas de la célula solar utilizada

- ✓ Silicio Policristalino.
- ✓ Potencia máxima: 0.8Wp.
- ✓ Tensión máxima de potencia: 3.85V.
- ✓ Corriente máxima: 0.21A.
- ✓ Tensión de circuito abierto: 4.80V.
- ✓ Corriente de cortocircuito: 0.23A.
- ✓ Tamaño del módulo: 140 x 100 x 4,9 mm.
- ✓ Peso: 134g.
- ✓ Tensión máxima del sistema: 720 VCC.
- ✓ Coeficientes de temperatura de Isc: 0,06% / K.
- ✓ Coeficientes de temperatura de Voc: -0,36% / K.
- ✓ Coeficientes de temperatura de Pm: -0,45% / K.
- ✓ Rango de temperatura: -40 ° C a +85 ° C.
- ✓ Superficie máxima capacidad de carga: 60 ms (200kg/sq.m).

- ✓ Longitud de los cables: Terminales 5 cm.
- ✓ Tolerancia de salida: $\pm 3\%$.
- ✓ Materiales: Aluminio (0.8w epx).
- ✓ Garantía: 25 años sobre el 80% de la potencia de salida mínima.

3.5. Foco Halógeno utilizado

Para la realización de las mediciones y la comprobación de la curva I-V de la célula solar se empleara en la fase de pruebas un foco halógeno de 500W de potencia y 2850 grados Kelvin de temperatura de luz que simulara la radiación solar que excitara a la célula:



Ilustración 32: Foco Halógeno

Este foco se situara a una distancia de la célula de 25 cm para que proyecte una iluminación uniforme sobre la célula.

4. IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE MEDICION

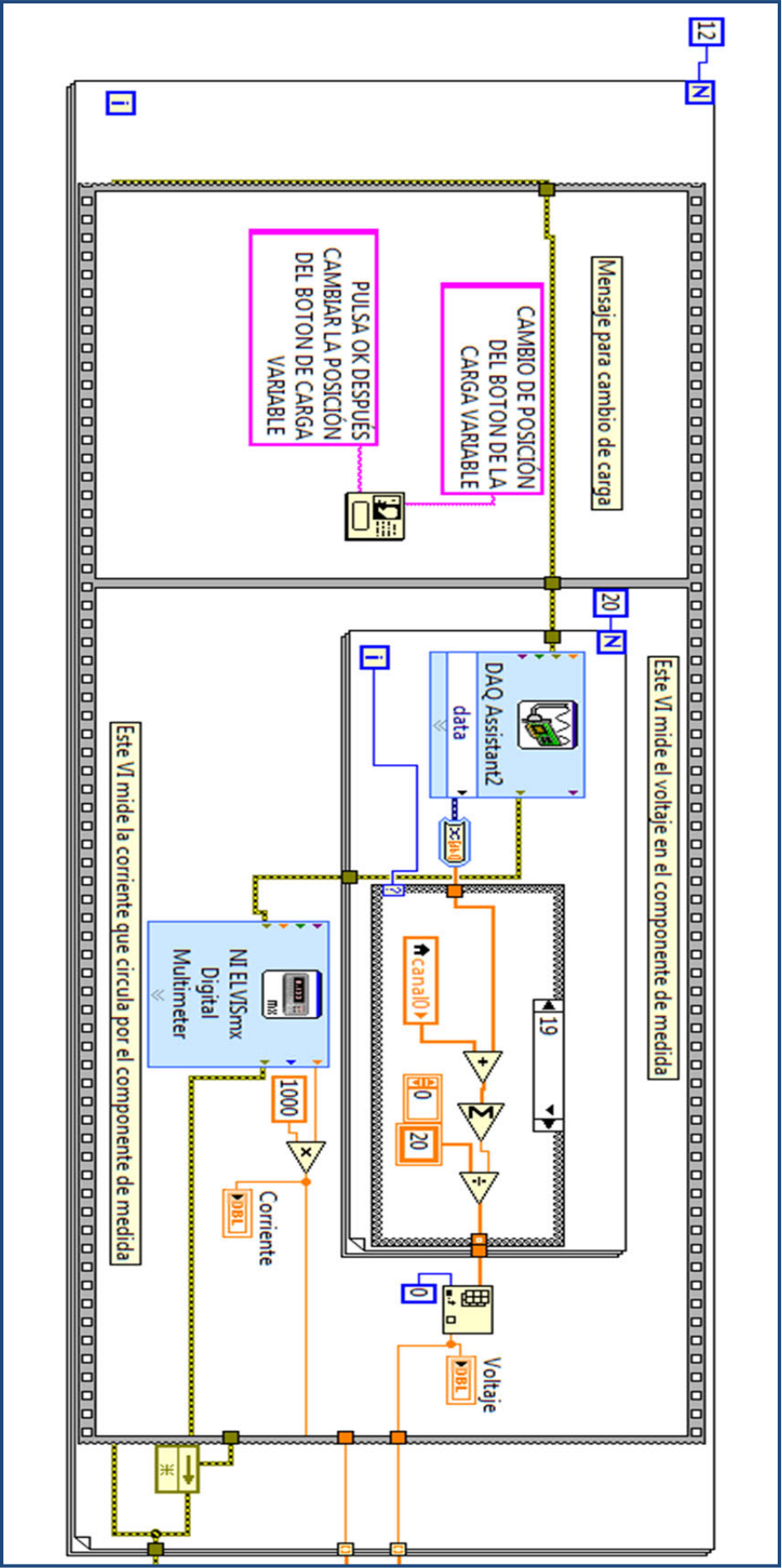
Una vez identificados todos los elementos necesarios para la implementación del sistema de medición comenzamos a la integración de los mismos en un único sistema.

Para la realización de esta fase integramos todos los elementos necesarios como un único sistema de medición siendo necesarios los siguientes elementos que permiten la integración del sistema:

4.1. Programa de medición diseñado en LabVIEW

Una vez diseñado el sistema de medición, para la medición de la curva I-V implementamos el siguiente programa que permitirá al sistema de medición el control del sistema de adquisición, la realización de mediciones y su posterior procesado.

Este programa de medición es realizado sobre el lenguaje de programación grafico LabVIEW con el siguiente código:



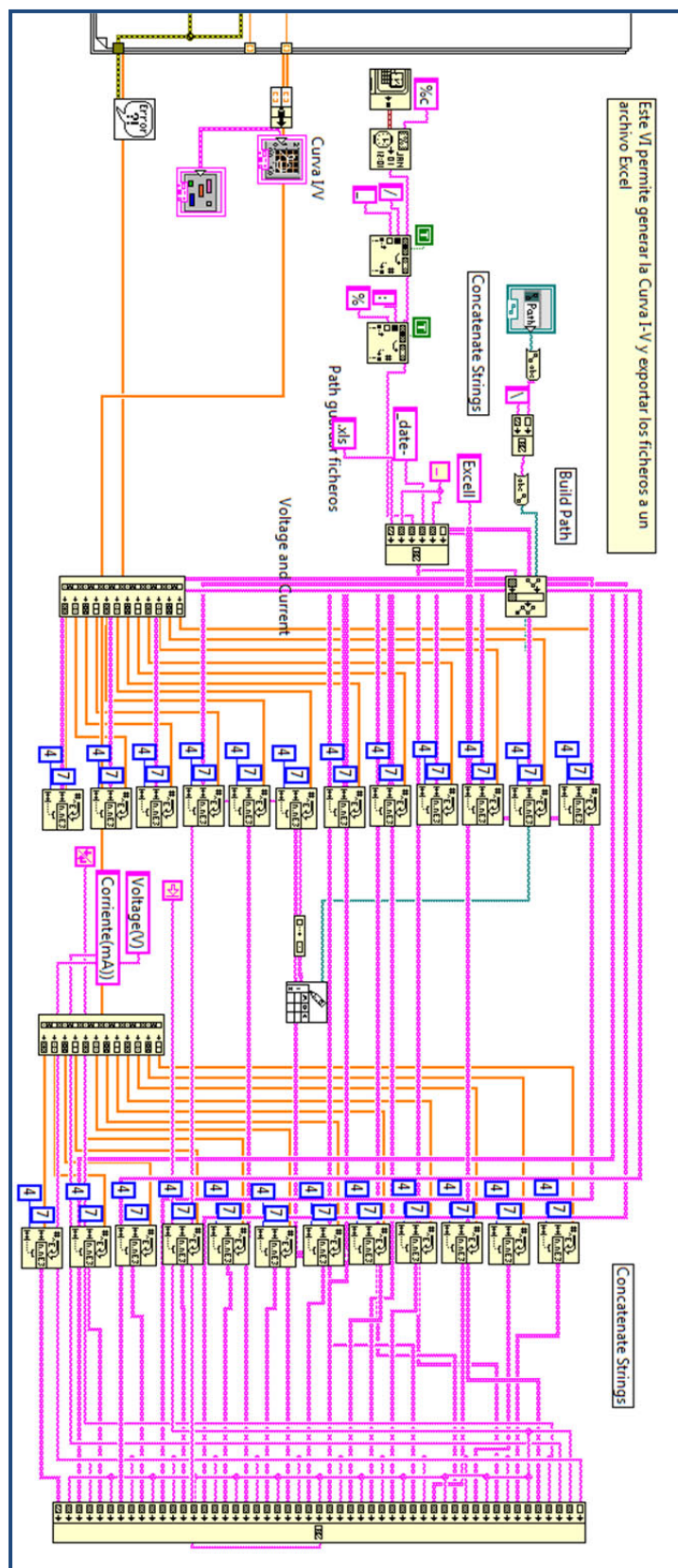


Ilustración 33: Programa diseñado en LabVIEW

Como hemos indicado antes la estructura de un programa LabVIEW es secuencial de forma que lo que primero se ejecuta es lo que se encuentra a la izquierda, ejecutándose a continuación el programa que continua a la derecha.

Para esta medición hemos utilizado un programa bucle de forma que hemos diseñado una estructura que se repita un número determinado de veces. Como en nuestro caso la medición estaba acotada por el número de valores de la carga variable con lo que realizaríamos la curva I-V hemos diseñado una estructura de medición que se repite doce veces.

Esa estructura está compuesta en primer lugar por un mensaje que aparece al arrancar el programa y que avisa al usuario de la posición de la carga variable y de que ha de ir variando. La parte del programa que realiza esta función es la siguiente:

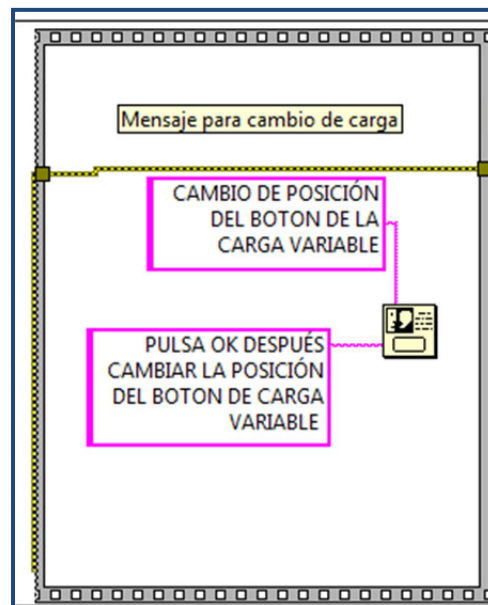


Ilustración 34: Aviso del cambio de resistencia

Esta parte introduce un stop en el programa de forma que permite variar de forma ordenada la carga y después indicar al programa que la carga variable esta lista para la siguiente medición.

A continuación se muestra el mensaje que recibe el usuario cuando el programa arranca y como es repetitivo también aparece antes de realizar la siguiente medición:

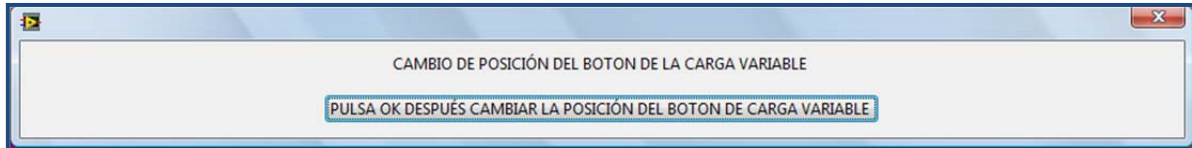


Ilustración 35: Mensaje de inicio de medición

Una vez pulsado el botón el programa continúa su ejecución y comienza la fase de medición que se realiza con las siguientes instrucciones que se pueden ver a continuación:

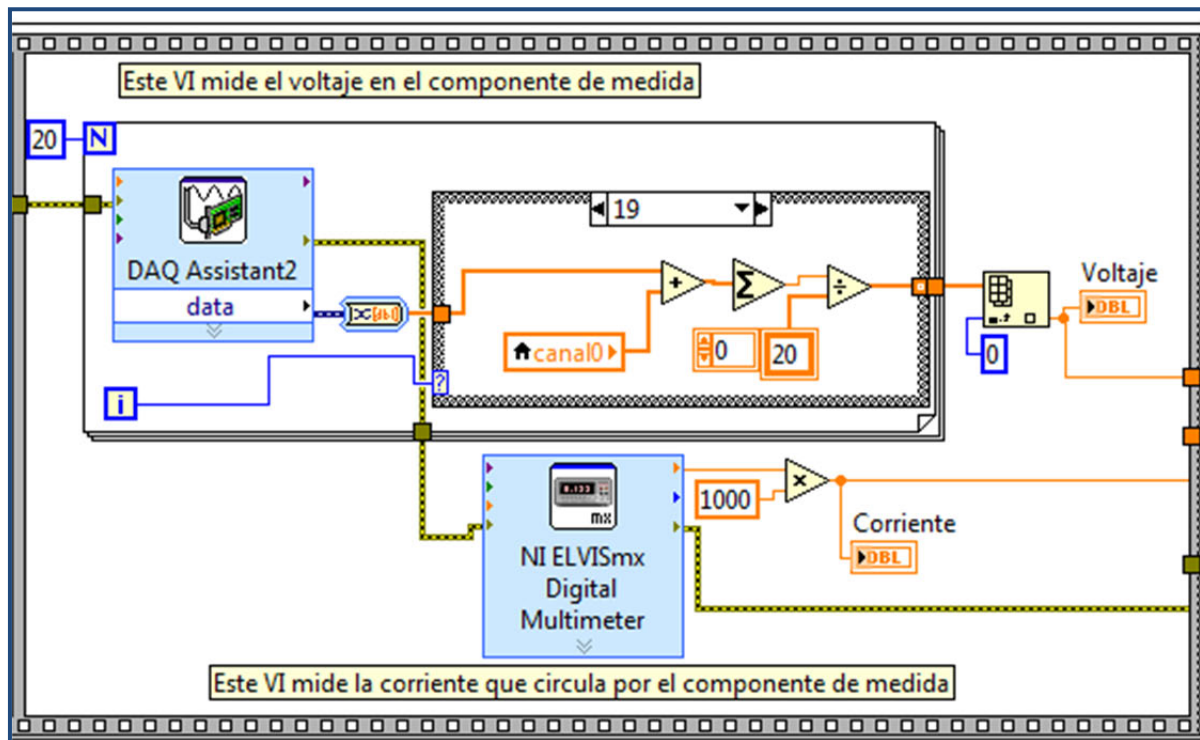


Ilustración 36: Sección de programa dedicada a la obtencion de medidas

En la imagen anterior se puede observar que una vez que hemos indicado que la carga variable se ha configurado en la posición correcta y que estamos listos el programa comienza a realizar la medición. Primero se toma la medición de tensión a través de las entradas AI- y AI+ que obtienen la tensión diferencial a través del siguiente VI que se muestra a continuación:

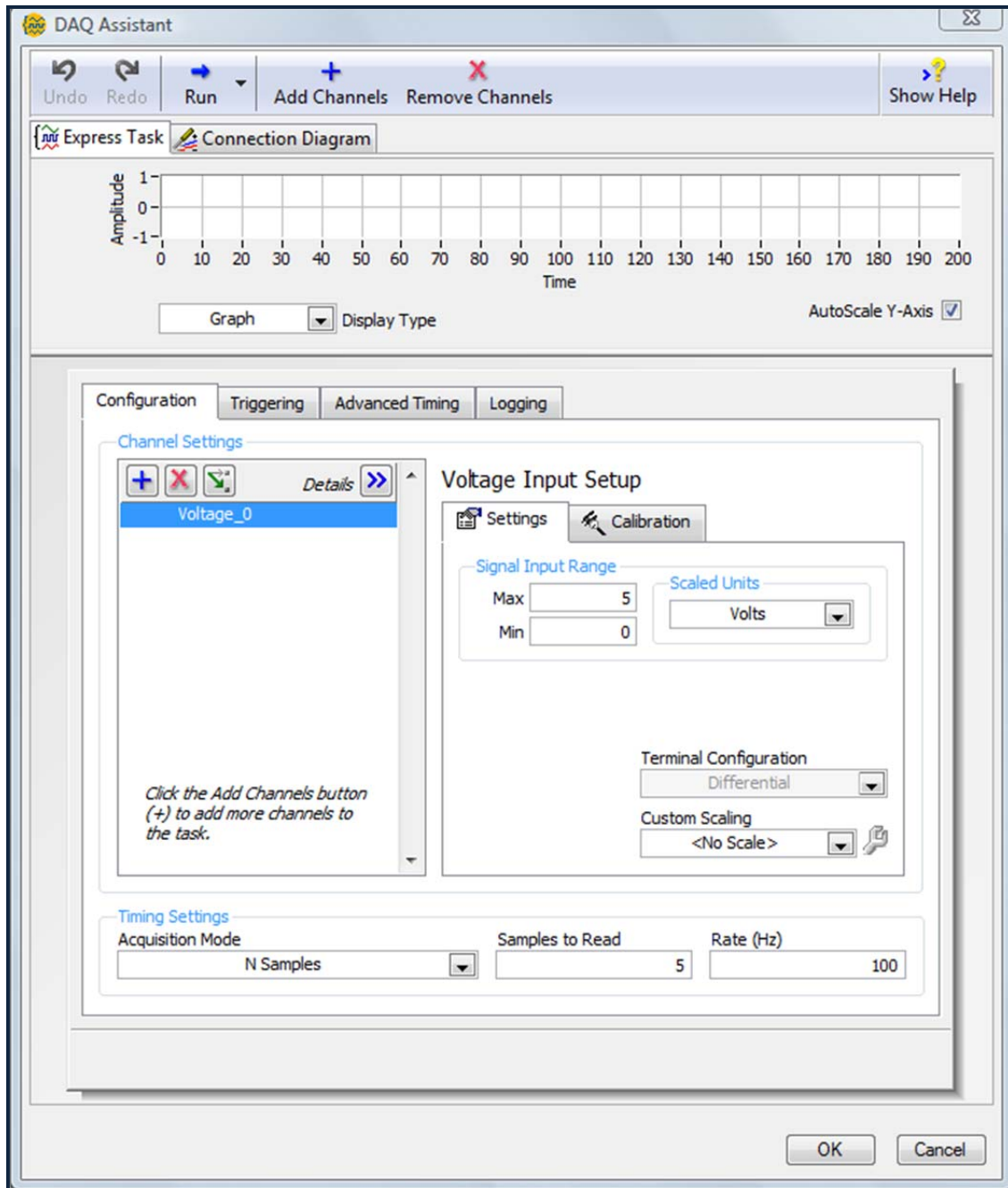


Ilustración 37: VI medición de tensión

Este VI toma la tensión diferencial entre las dos entradas analógicas. Para obtener una medición más precisa se toman 20 mediciones cada vez y se realiza una media de las mismas como se puede observar en la siguiente imagen del programa:

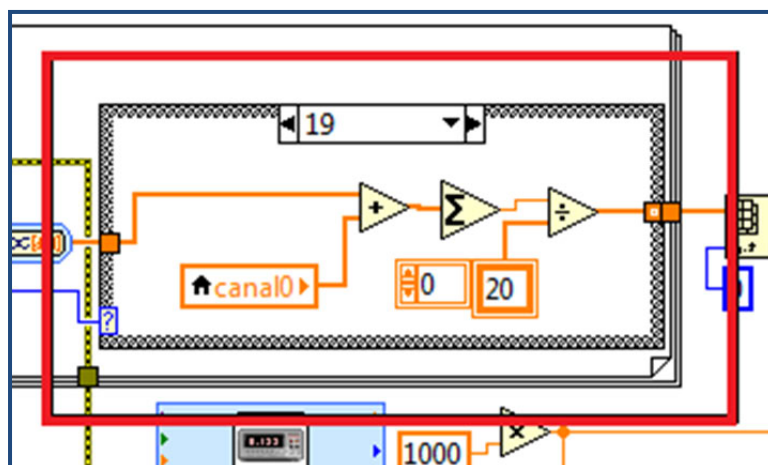


Ilustración 38: Bucle de medidas

Una vez tomada la medición de tensión el programa procede con la medición de corriente. Esta medición se realiza a través del Multímetro digital incorporado en el MyDAQ con lo que el programa proceder a llamar al VI diseñado para ello y que se expone a continuación:

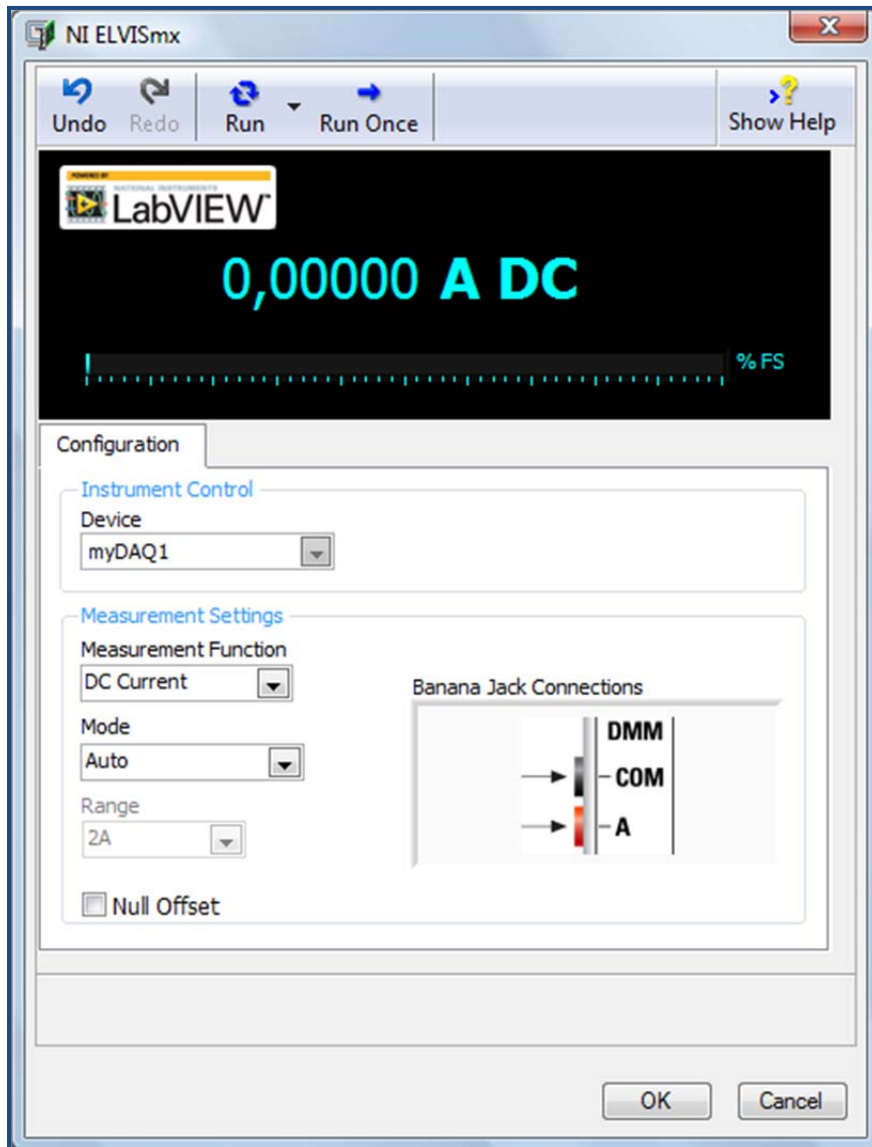


Ilustración 39: VI medición de corriente

Una vez realizada la medición de la corriente el programa finaliza el bucle y retorna al principio para comenzar de nuevo repitiéndose este doce veces, una por cada valor de la resistencia variable.

Una vez finalizadas las doce mediciones el programa procede a la entrega de resultados que muestra a través de una gráfica donde muestra la curva I-V y una tabla donde se expresan los valores de Voltaje y Corriente. De forma simultánea el programa genera también un fichero Excel con los resultados de tensión y corriente medidos para su posterior procesado.

A continuación se puede observar el VI que ejecuta esta secuencia:

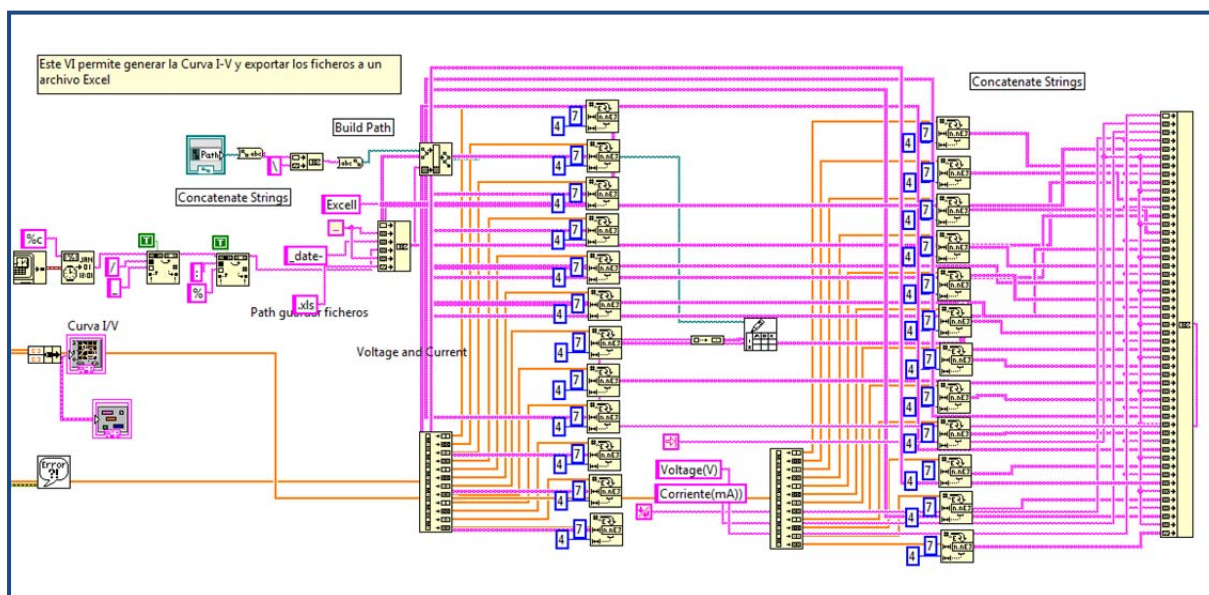


Ilustración 40: VI que extrae los resultados obtenidos

A continuación se muestra una imagen con la representación de los resultados que extrae el programa:

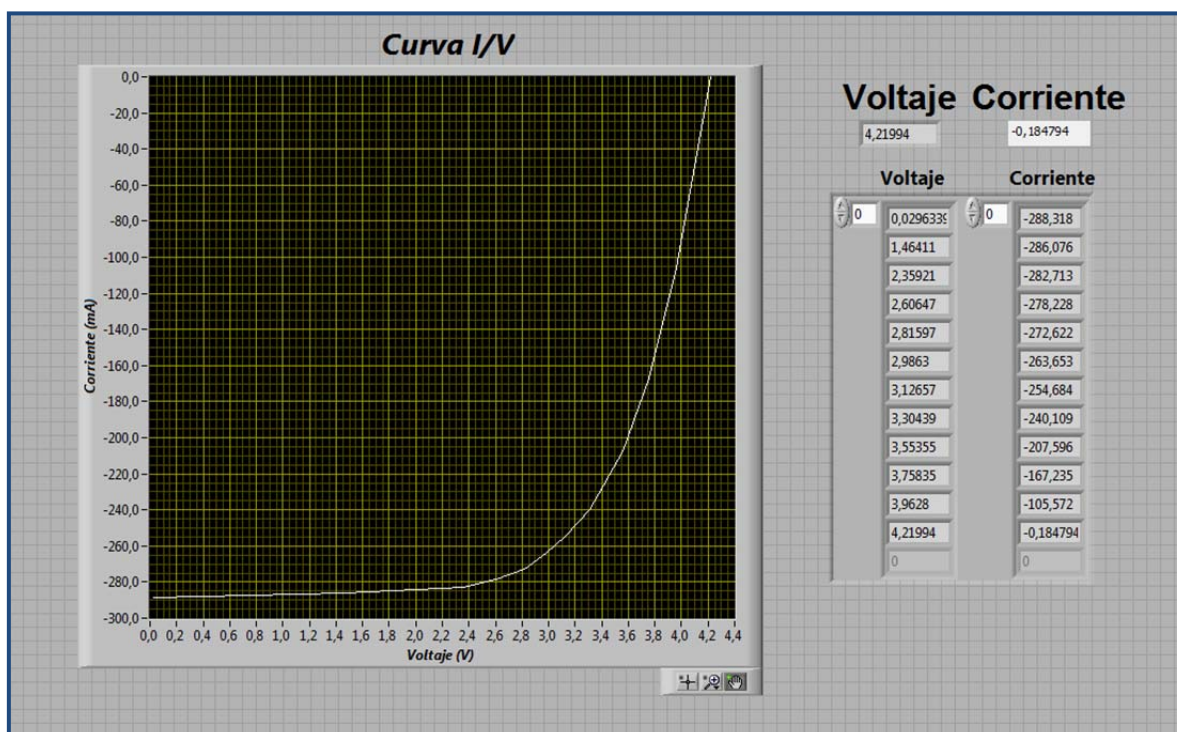


Ilustración 41: Presentación de resultados programa LabVIEW

4.2. Conexionado de elementos

Una vez terminado el diseño y generado el código en LabVIEW que controlara la medición de las curvas I-V procedemos al conexionado de los distintos elementos que configuraran el sistema de medición.

La medición de la curva I-V requiere en el NI MyDAQ la medición de dos entradas analógicas que realizaran de forma simultánea las mediciones de corriente y la tensión sobre el mini-módulo fotovoltaico.

Para la medición de tensión se utilizaran las entradas analógicas (AO+ y AO-). Estas entradas están conectadas directamente sobre la carga variable y realizaran una medida de tensión diferencial sobre la misma.

La segunda entrada analógica es una entrada de corriente. Los canales analógicos del MyDAQ son capaces de realizar mediciones tanto de entrada como de salida de corriente analógica, pero no se pueden utilizar debido a que estos ya se están implementando para la medición de señales de tensión. Para poder realizar la medición de corriente, utilizamos las entradas del multímetro digital como segunda entrada analógica para la medición de corriente.

A continuación se puede observar una imagen con el conexionado del equipamiento para la realización de la prueba:

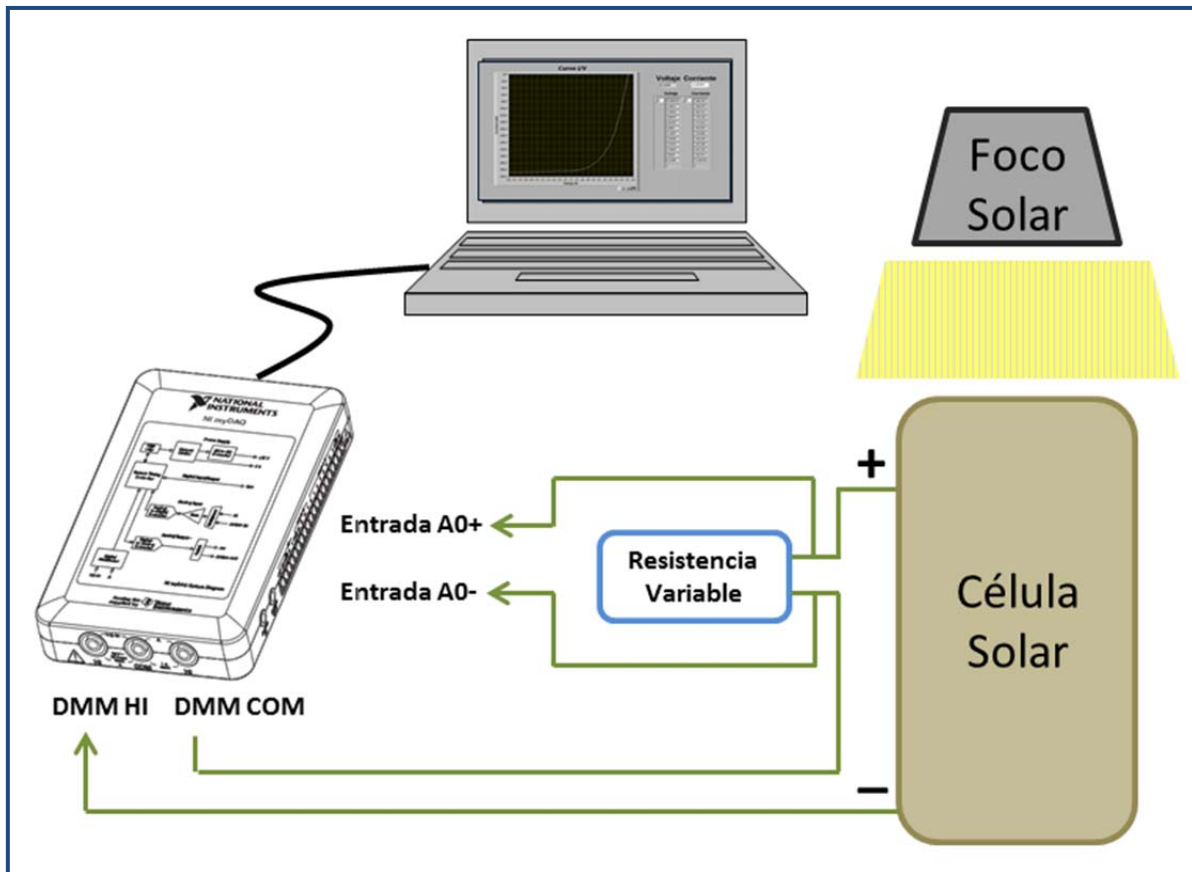


Ilustración 42: Conexión medición MyDAQ

Como se puede observar en la imagen anterior se conecta las entradas analógicas A0+y A0- a la resistencia variable cuya función es la de establecer de referencia para la medición y así poder generar la curva. A continuación se conecta a la célula solar la resistencia variable conectando entre ambos las entradas del multímetro digital (DMM).

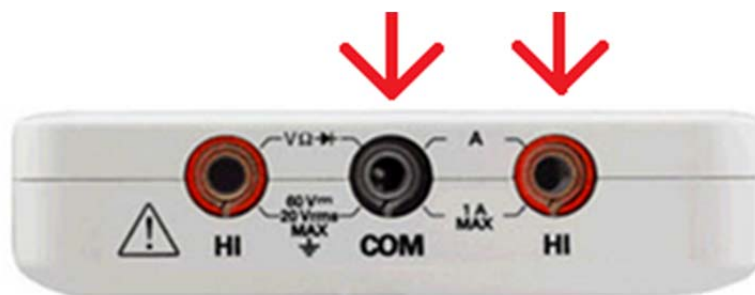


Ilustración 43: Conexión DMM medición MyDAQ

A continuación podemos observar una imagen real del conexionado.

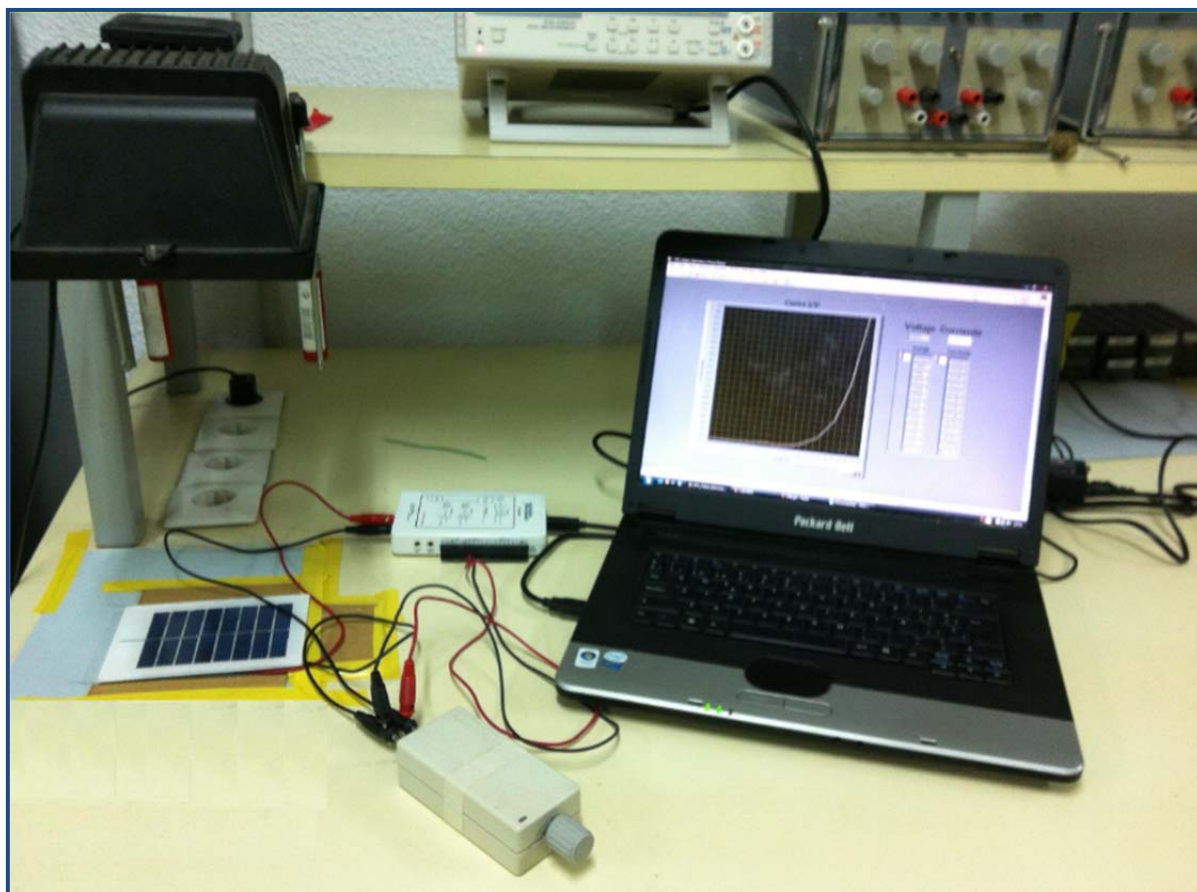


Ilustración 44: Conexión medición

En la imagen anterior se puede observar la integración del sistema de medición y la elevada portabilidad del mismo consiguiéndose uno de los principales requerimientos del sistema que es su portabilidad. Con este sistema se realizaron numerosas medidas para desarrollar el método de programación de la medida en tensión y corriente, que hiciese las medidas más exactas y repetitivas.

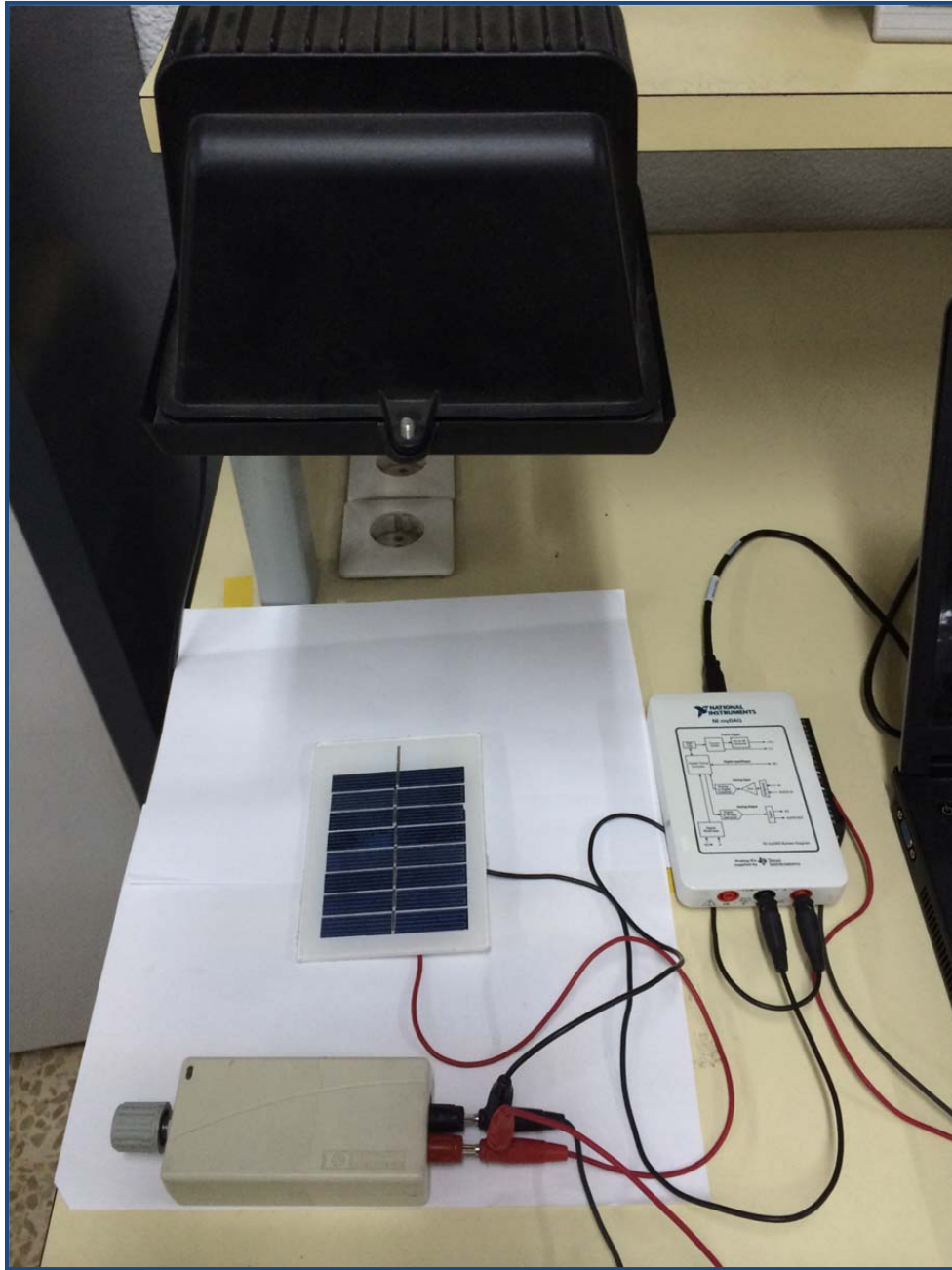


Ilustración 45: Conexión de carga variable y célula solar para medición con MyDAQ

5. DESARROLLO DE LA FASE DE MEDICIONES

Una vez conexionado el sistema ya podemos ejecutar en el ordenador el programa de medición diseñado en LabVIEW y comenzar la ejecución de medidas variando la carga variable entre sus diferentes posiciones obteniendo diversos valores que interpolándolos forman la curva característica.

Se desarrollaron dos tipos de medidas, las medidas de las figuras anteriores sobre una misma célula y un foco concreto a una distancia fija (25 cm), y las medidas sobre un banco de pruebas con tres células, del mismo fabricante antes mencionado, pero sometidas a diferentes condiciones térmicas de ensayo.

El objetivo es comparar las medidas de células que sufren diferente tipo de estrés y posible degradación con dos tipos de instrumentación, la instrumentación de laboratorio mediante una fuente-medidora Keithley 2601, específica para aplicaciones de caracterización de células fotovoltaicas y otro tipo de semiconductores, y el sistema portátil de medida desarrollado en el PFC.

En la siguiente figura se aprecia una foto del banco de prueba con los tres mini-módulos.



Ilustración 46: Banco de mediciones mini-módulos solares

La radiación recibida por las tres células es emitida por el mismo tipo de foco halógeno anteriormente indicado y las tres están situadas a la misma distancia de los mismos. La diferencia en las condiciones a las que se encuentran sometidas las células radica en la temperatura a la que se encuentran sometidas las mismas, mientras se encuentran siendo radiadas por los focos generando estas tres situaciones diferentes:

✓ ***Célula Ventilada***

La primera de las tres células se encuentra siendo refrigerada por un ventilador disminuyendo así la temperatura a la que se encuentra sometida. Esta refrigeración supone que la célula se encuentra a una temperatura 5 grados centígrados por debajo de la temperatura ambiente, que es de 20 grados centígrados.

✓ ***Célula a Temperatura Ambiente***

La segunda de las tres células se encuentra radiada por el mismo foco y a la misma distancia que las otras dos pero a temperatura ambiente, que es de 20 grados centígrados.

✓ *Célula a sobrecalentada*

La última de las tres células se encuentra radiada por el mismo foco y a la misma distancia que las otras dos pero conectada a una resistencia alimentada a 5V a través de una placa de cobre que le transmite el calor radiado a la célula aumentando así su temperatura por encima de la temperatura ambiente que es de 20 grados centígrados.

A continuación se muestran las gráficas y las tablas de mediciones de las células medidas:

5.1. Medición Célula Ventilada

A continuación se muestra la gráfica I-V de la célula ventilada medida a través del equipamiento desarrollado en el proyecto:

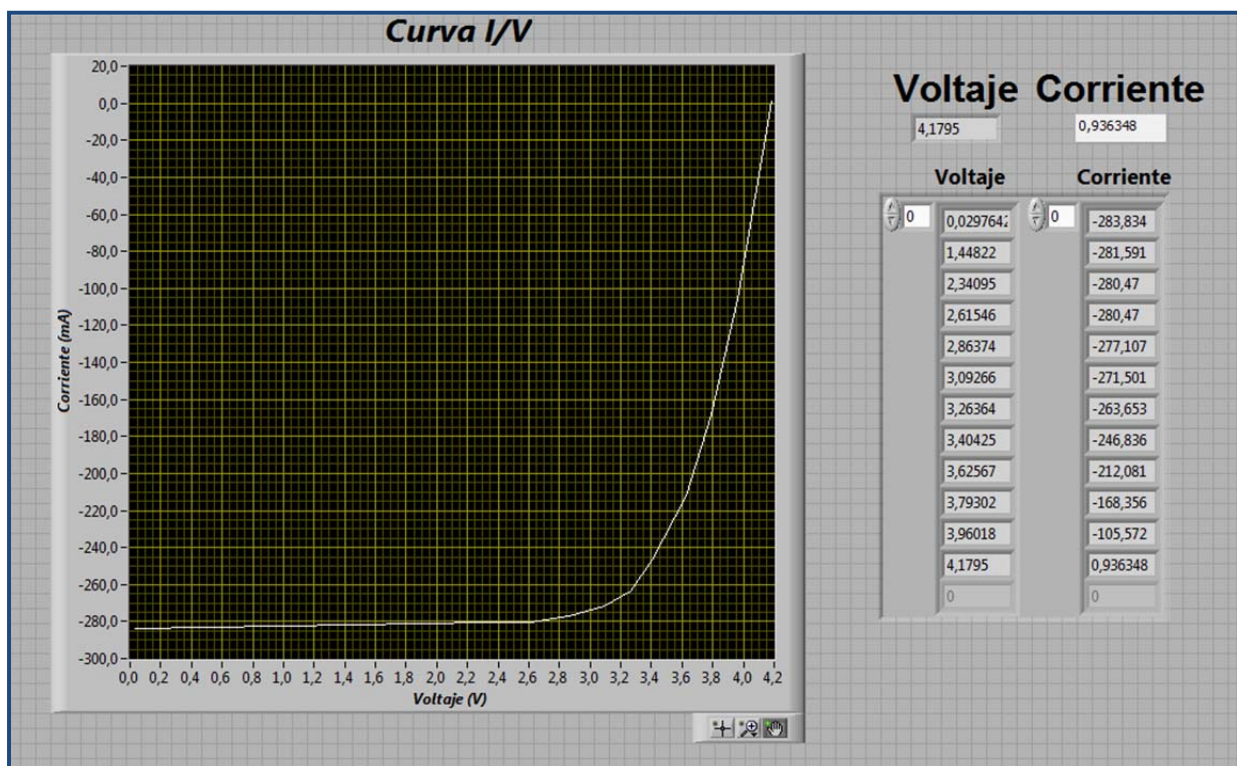


Ilustración 47: Curva I-V Célula Ventilada medida con MyDAQ

Los valores de corriente y tensión de la célula ventilada que generan la curva anterior se muestran en la siguiente tabla:

Valores Curva I-V Célula Ventilada		
<i>Posición Carga Variable</i>	<i>Corriente (mA)</i>	<i>Tensión (V)</i>
1	-283,834	0,029764
2	-281,591	1,44822
3	-280,470	2,34095
4	-280,470	2,61546
5	-277,107	2,86374
6	-271,501	3,09266
7	-263,653	3,26364
8	-246,836	3,40425
9	-212,081	3,62567
10	-168,356	3,79302
11	-105,572	3,96018
12	0,936348	4,1795

Tabla 10: Valores Curva I-V Célula Ventilada medida con MyDAQ

5.2. Medición Célula Temperatura Ambiente:

A continuación se muestra la gráfica I-V de la célula que se encuentra a temperatura ambiente medida a través del equipamiento desarrollado en el proyecto:

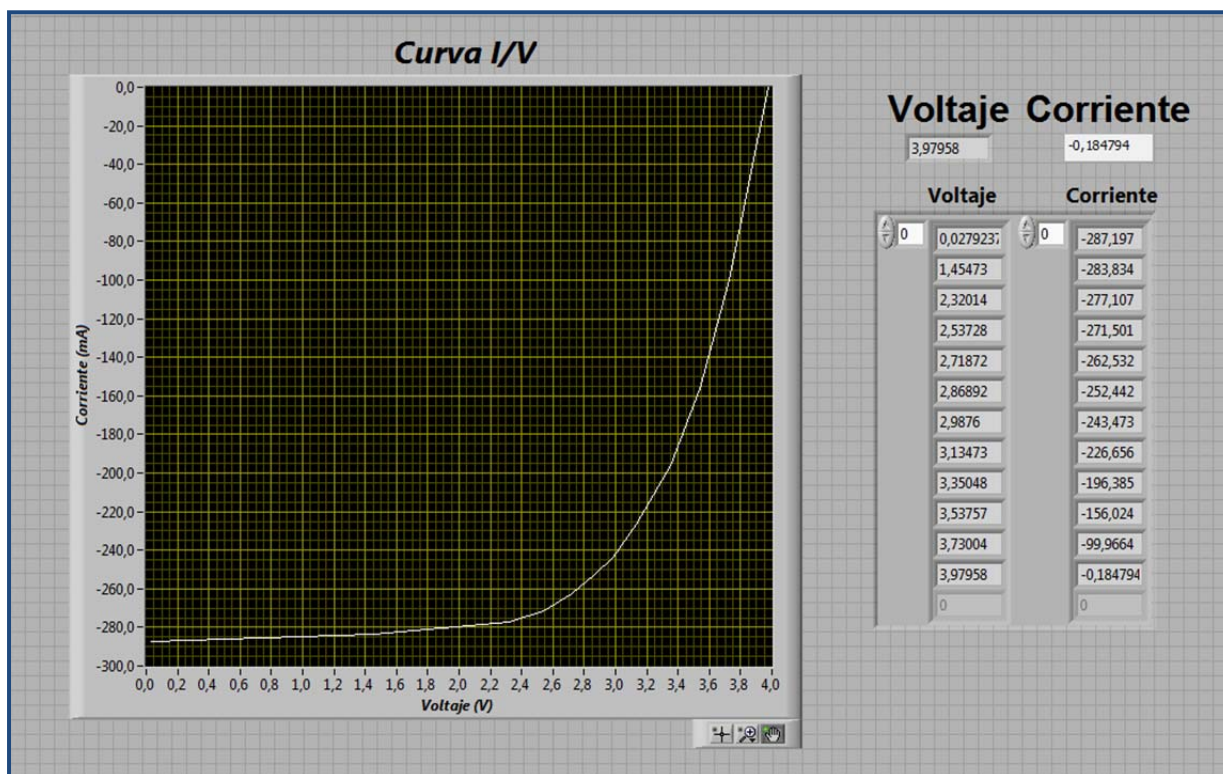


Ilustración 48: Curva I-V Célula a Temperatura Ambiente medida con MyDAQ

Los valores de corriente y tensión de la célula a temperatura ambiente que generan la curva anterior se muestran en la siguiente tabla:

Valores Curva I-V Célula Temperatura Ambiente		
Posición Carga Variable	Corriente (mA)	Tensión (V)
1	-287,197	0,027923
2	-283,834	1.45473

3	-277,107	2.32014
4	-271,501	2.53728
5	-262,532	2.71872
6	-252,442	2.86892
7	-243,473	2.98760
8	-226,656	3.13473
9	-196,385	3.35048
10	-156,024	3.53757
11	-99,9664	3.73004
12	-0,184794	3.97958

Tabla 11: Valores Curva I-V Célula Temperatura Ambiente medida con MyDAQ

5.3. Medición Célula Temperatura Sobrecalentada:

A continuación se muestra la gráfica I-V de la célula que se encuentra siendo sobrecalentada a través de una resistencia conectada por una placa de cobre a la misma, medida a través del equipamiento desarrollado en el proyecto:

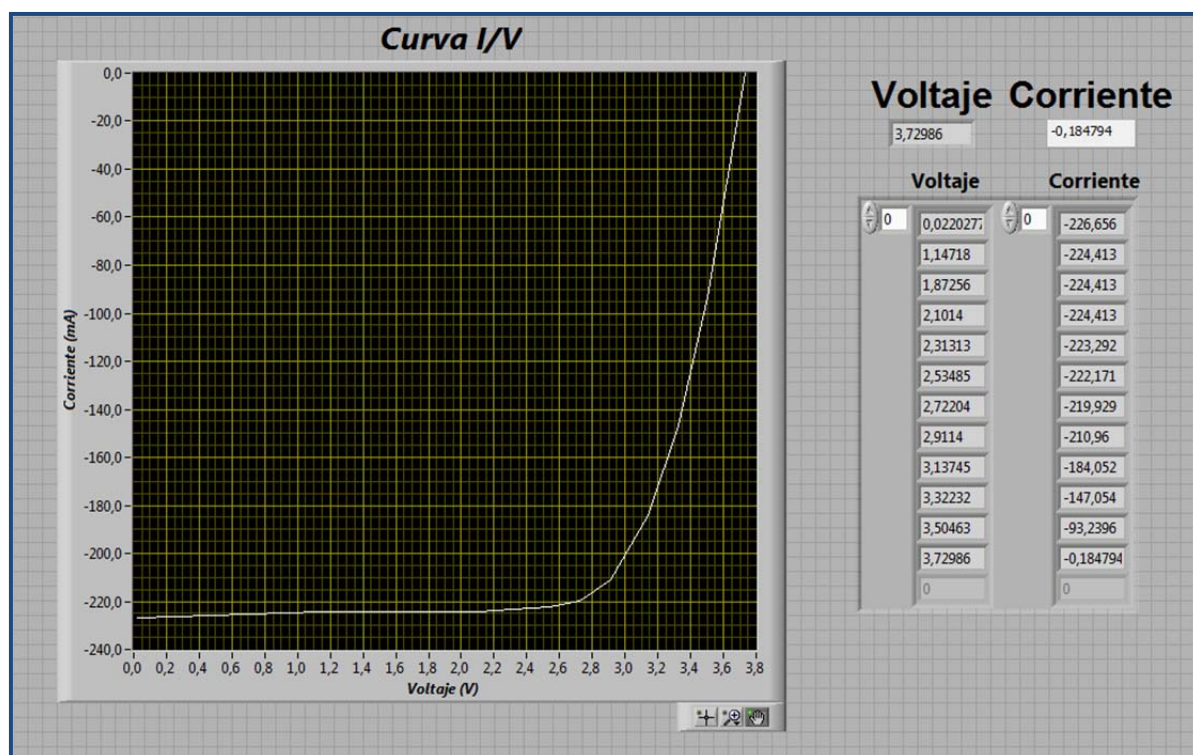


Ilustración 49: Curva I-V Célula a Temperatura Sobrecalentada medida con MyDAQ

Los valores de corriente y tensión de la célula a temperatura ambiente que generan la curva anterior se muestran en la siguiente tabla:

Valores Curva I-V Célula Temperatura Sobrecalentada		
<i>Posición Carga Variable</i>	<i>Corriente (mA)</i>	<i>Tensión (V)</i>
1	-226,656	0,022027
2	-224,413	1,14718
3	-224,413	1,87256
4	-224,413	2,1014

5	-223,292	2,31313
6	-222,171	2,53485
7	-219,929	2,72204
8	-210,960	2,91140
9	-184,052	3,13745
10	-147,054	3,32232
11	-93,2396	3,50463
12	-0,184794	3,72986

Tabla 12: Valores Curva I-V Célula Sobrecalentada medida con MyDAQ

5.4. Comparativa mediciones células a distinta temperatura

Como podemos observar en las mediciones que hemos realizado sobre células solares, que pese a estar sometidas a la misma radiación se encuentran a diferentes temperaturas, podemos constatar, en vista de los resultados obtenidos, que se cumple que un aumento de la temperatura de funcionamiento, a la que se encuentran sometidos los dispositivos, genera una reducción de la tensión producida por los mismos.

6. MEDICION CURVAS I-V CON EQUIPAMIENTO DE CARACTERIZACIÓN DE SEMICONDUCTORES

Para finalizar el proyecto y poder dar como correcta la elección del dispositivo de medidas en campo vamos a proceder a realizar una comparativa del equipamiento desarrollado en este proyecto con equipamiento de laboratorio.

Realizar una comparativa de un dispositivo portátil para medición en campo contra un dispositivo de medición de laboratorio supone realizar una comparativa en clara desventaja para el equipamiento de mediciones portátil debido principalmente a que el equipamiento de laboratorio al disponer de alimentación ilimitada y no tener limitación de volumen y peso dispone de una implementación que ante cualquier comparativa puede ofrecer resultados de una elevadísima mayor precisión, no siendo esa comparativa la buscada en este proyecto pues se busca una solución de compromiso que permita disponer de un equipo de campo, sin alimentación ilimitada y con un peso y tamaño limitados al máximo, pero que a la vez realice unas mediciones lo más precisas posibles.

De lo anterior necesitamos más que realizar una comparativa de resultados, pues es obvio que el equipamiento de la laboratorio ofrecerá mejores resultados, sino más bien realizar un contraste de resultados para conocer la precisión de nuestro equipamiento de medición portátil y poder confirmar su utilización como equipo de medición portátil.

Dicho esto a continuación realizaremos de nuevo y bajo las mismas condiciones de radiación y temperatura, las mediciones de las curvas I-V sobre las mismas células solares anteriores, pero esta vez utilizaremos el equipamiento de laboratorio Keithley 2601.

6.1. Equipamiento de laboratorio Keithley 2601

El equipo Keithley 2601 SourceMeter es un modelo de medición diseñado específicamente para la realización de mediciones de laboratorio. Es un dispositivo capaz de realizar mediciones de tensión y corriente pero también es una fuente de alimentación en CC. Con una precisión relativa ($1\mu\text{V}$ -20V y 10 pA-1A) como fuente de alimentación, como multímetro es capaz de realizar mediciones con 6 dígitos y medio.

Sus principales características como fuente de alimentación radican en el bajo ruido, la precisión y la colación mientras que como multímetro destaca en su alta capacidad de repetición y bajo ruido.

En funcionamiento, puede actuar como un fuente de tensión, una fuente de corriente, un medidor de tensión, un medidor de corriente, y un óhmetro.

A continuación se muestra una imagen del equipamiento:



Ilustración 50: Equipo Keithley 2601

El equipamiento dispone de una salida de 20 V y 1A lo que permite la caracterización de las curvas I-V en la medición de eficiencia de las células fotovoltaicas siendo esta una de las principales funcionalidades para las que ha sido diseñado.

Al incluirse en un único equipo fuente de alimentación y equipamiento de medición, ofrece una variedad de ventajas sobre los sistemas configurados con instrumentos de origen y de medición distintos, pues reduce al mínimo el tiempo necesario para el desarrollo de la estación de prueba, instalación y mantenimiento, mientras que también reduce costes al no ser necesario dos equipos para la medición, uno como fuente de alimentación y otro como medidor.

Esto simplifica el proceso de la prueba en sí, eliminando muchos de los complejos problemas de sincronización y conexión asociados con el uso de múltiples instrumentos.

Pese a ser un equipo de laboratorio su integración permite disponer de un equipamiento de tamaño reducido.

Al igual que otros instrumentos de este fabricante, el equipamiento 2601 dispone de interfaz de enlace para su gestión y monitorización, que proporciona la comunicación con muchos de otros instrumentos de Keithley conectando entre sí varios sistemas.

Para la realización de mediciones dispone de diferentes soluciones de barrido. Puede realizar tres formas básicas de barrido o programar una única medición o una operación continua lo cual es ideal para la caracterización de curvas I-V.

Los diferentes tipos de barrido que puede realizar son:

✓ ***Barrido Lineal Escalera:***

Este barrido realiza mediciones desde el nivel principal en pasos lineales iguales.

✓ ***Barrido logarítmico Escalera:***

Realiza mediciones en una escala logarítmica con un número especificado de pasos por década.

✓ ***Barrido personalizado:***

Permite la construcción de barridos especiales especificando el número de puntos de medición y el nivel de origen encada punto con hasta 1700 lecturas / segundo a 4 ½ dígitos y permitiendo almacenar hasta 5000 lecturas en la memoria no volátil.

Las principales características del equipamiento son:

- ✓ Precisión de 1 μ V sobre 20V y de 10 pA sobre 1 A.
- ✓ Cinco instrumentos en uno (Voltímetro, Amperímetro, Multímetro, Fuente de alimentación, Ohmímetro)
- ✓ Operación de fuente de alimentación y medición simultanea (4 cuadrantes)
- ✓ Precisión digital de medida del 0,012% con 6 y medio de resolución
- ✓ Mediciones a 2, 4 y 6 cables remotos.
- ✓ Capacidad de medición de 1700 lecturas/segundo a 4dígitos y medio
- ✓ Estándar de conexión para gestión remota SCPI GPIB, RS-232,y Keithley enlace

- ✓ Keithley LabTracer software para medición de curva I-V

Sus principales funcionalidades de medición son:

- ✓ Caracterización de LEDs de alto brillo (con voltaje DC y pulsado)
- ✓ Eficiencia de celdas fotovoltaicas (como fuente y como disipación)
- ✓ Fuente y medición precisa de corriente de DC
- ✓ Prueba de dispositivos semiconductores discretos
- ✓ Prueba de dispositivos pasivos y resistencias
- ✓ Prueba de diodos laser, módulos de diodos laser y fotodetectores
- ✓ Curvas de caracterización I-V (Corriente vs Voltaje)

Medición de curvas I-V

El modelo 2601 proporciona para la medición de curvas I-V una operación de cuatro cuadrantes. En los primer y tercer cuadrantes, opera como fuente, entregando la potencia a una carga. En los cuadrantes segundo y cuarto, opera como un sumidero, disipando la energía interna. La tensión, corriente, y la resistencia puede ser medidas durante las fases de fuente o sumidero de operación.

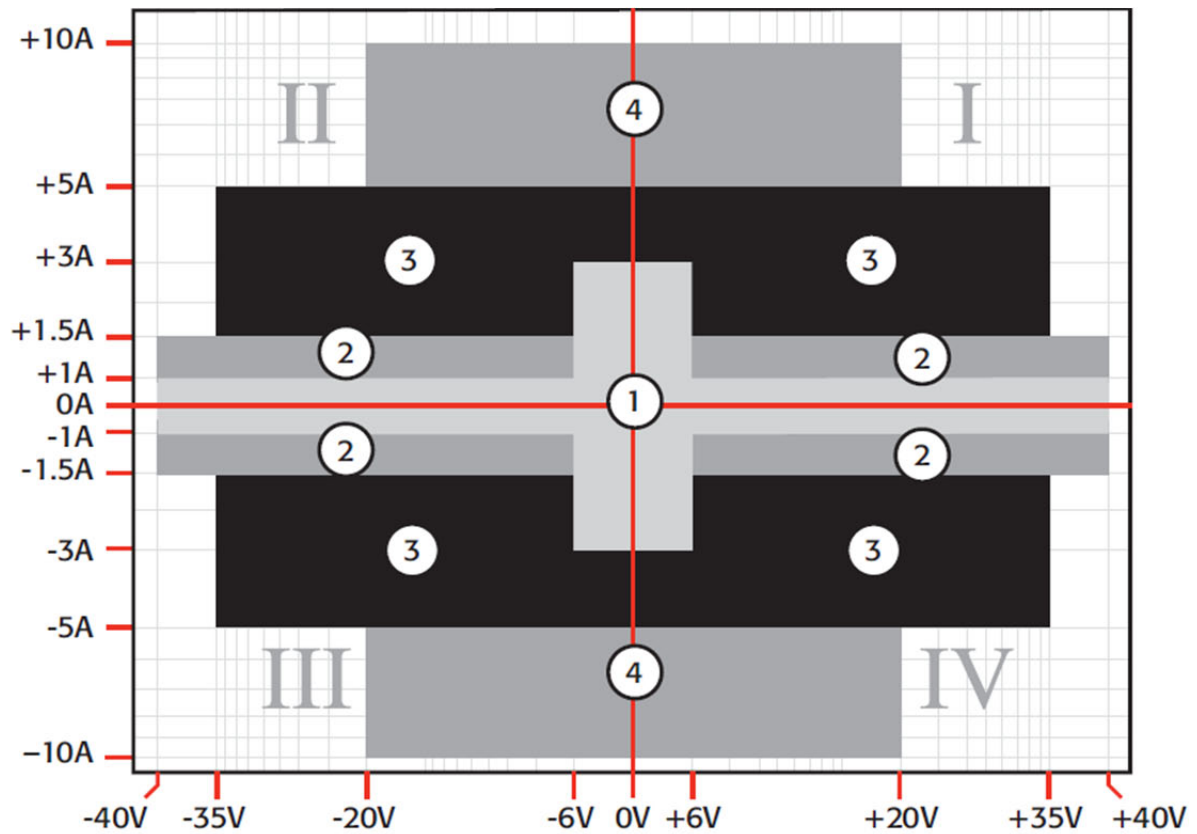


Ilustración 51: Ciclos de operación Keithley

6.1.1. Especificaciones técnicas Keithley 2601

A continuación se indican las especificaciones técnicas del equipamiento:

Función	Rango	Resolución	Precisión	Ruido
Tensión Fuente	100 mV	5µV	0.02% + 250µV	20µV
	1 V	50µV	0.02% + 400µV	50µV
	6 V	50µV	0.02% + 1.8.mV	100µV

	40 V	500 μ V	0.02% + 12mV	500 μ V
--	------	-------------	--------------	-------------

Tabla 13: Precisión tensión fuente alimentación Keithley 2601

Función	Rango	Resolución	Precisión	Ruido
Corriente Fuente	100nA	1 pA	0.06% + 100pA	5pA
	1 μ A	10pA	0.03% + 800pA	25pA
	10 μ A	100pA	0.03% + 5nA	60pA
	100 μ A	1nA	0.03% + 60nA	3nA
	1 mA	10nA	0.03% + 300nA	6nA
	10mA	100nA	0.03% + 6 μ A	200nA
	100 mA	1 μ A	0.03% + 30 μ A	600nA
	1 A	10 μ A	0.05% + 1.8mA	70 μ A
	3 A	10 μ A	0.06% + 4mA	150 μ A
	10 A	100 μ A	0.05% + 40mA	-

Tabla 14: Precisión corriente fuente de alimentación Keithley 2601

Función	Rango	Resolución	Precisión	Impedancia de entrada
Tensión Medida	100 mV	1 μ V	0.015% + 150 μ V	>10G Ω
	1 V	10 μ V	0.015% + 200 μ V	>10G Ω
	6 V	10 μ V	0.015% + 1mV	>10G Ω
	40 V	100 μ V	0.015% + 8mV	>10G Ω

Tabla 15: Precisión medición tensión Keithley 2601

Función	Rango	Resolución	Precisión	Sobrecarga de voltaje
Corriente Fuente	100nA	1 pA	0.05% + 100pA	<1mV
	1 μ A	10pA	0.025% + 500pA	<1mV
	10 μ A	100pA	0.025 + 1.5nA	<1mV
	100 μ A	1nA	0.02% + 25nA	<1mV
	1 mA	10nA	0.02% + 200nA	<1mV

	10mA	100nA	0.02% + 2.5 μ A	<1mV
	100 mA	1 μ A	0.02% + 20 μ A	<1mV
	1 A	10 μ A	0.03% + 1.5mA	<1mV
	3 A	10 μ A	0.05% + 3.5mA	<1mV
	10 A	100 μ A	0.04% + 25mA	<1mV

Tabla 16: Precisión medición corriente Keithley 2601

Función	Rango	Resolución	Precisión	Corriente de testeo
Ohmios	<2 Ω	10 $\mu\Omega$	-	-
	20 Ω	100 $\mu\Omega$	0.10 + 0.003 Ω	100mA
	200 Ω	1 m Ω	0.08% + 0.03 Ω	10mA
	2 k Ω	10 m Ω	0.07% + 0.3 Ω	1mA
	20 k Ω	100 m Ω	0.06% + 3 Ω	100 μ A
	200 k Ω	1 Ω	0.07% + 30 Ω	10 μ A

	2 MΩ	10 Ω	0.11% + 300 Ω	1 μA
	20 MΩ	100 Ω	0.11% + 1 kΩ	1μA
	200 MΩ	1 kΩ	0.66% + 10 kΩ	100nA
	> 200 MΩ	-	-	

Tabla 17: Precisión medición resistencia Keithley 2601

Otras especificaciones:

- ✓ Alimentación necesaria: 100V hasta 240V rms, 50–60Hz
- ✓ USB 2.0 Host Controller
- ✓ Puerto RS-232 Velocidades de transmisión de 300 bps a 115200 bps. Se puede utilizar la interfaz RS-232 para controlar otros instrumentos.
- ✓ Ethernet: Puerto RJ-45 connector, LXI Class C, 10/100BT, Auto MDIX
- ✓ Dimensiones: 89mm alto × 213mm ancho × 460mm profundo
- ✓ Peso: 4.75 kg
- ✓ Condiciones de uso: 0°–50°C, 70%R.H.
- ✓ Condiciones de almacenamiento: –25°C hasta 65°C.
- ✓ Buffer de memoria: 5000 lecturas a 5.5 dígitos

6.2. Programa Test Script Builder Keithley

La suite Test Script Builder de Keithley es el programa que permite el control del equipo Keithley 2601 y permite la ejecución de programas sobre el mismo.



Ilustración 52: Programa Test Script Builder de Keithley

Este programa dispone de los siguientes requisitos Hardware:

- ✓ Pentium III, 800 MHz o mejor clase PC
- ✓ 200 Mbytes de espacio libre en disco
- ✓ Puerto serie RS-232

El programa Test Script Builder puede instalarse en los Sistemas Operativos compatibles:

- ✓ Windows XP Professional Service Pack 2 o posterior
- ✓ Windows 2000 service pack 4 o posterior

6.2.1. Instrucciones del software

A continuación es necesario cargar en el PC a través del programa Test Scrip Builder de Keithley.

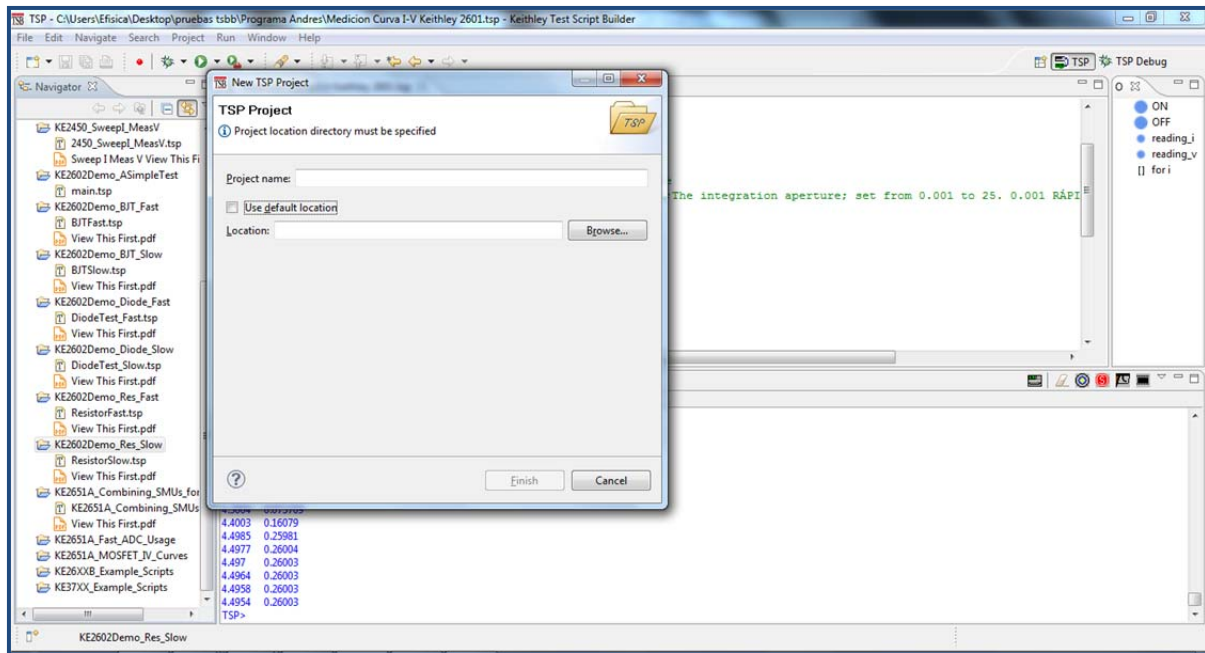


Ilustración 53: Creación de un proyecto con programa Test Script Builder

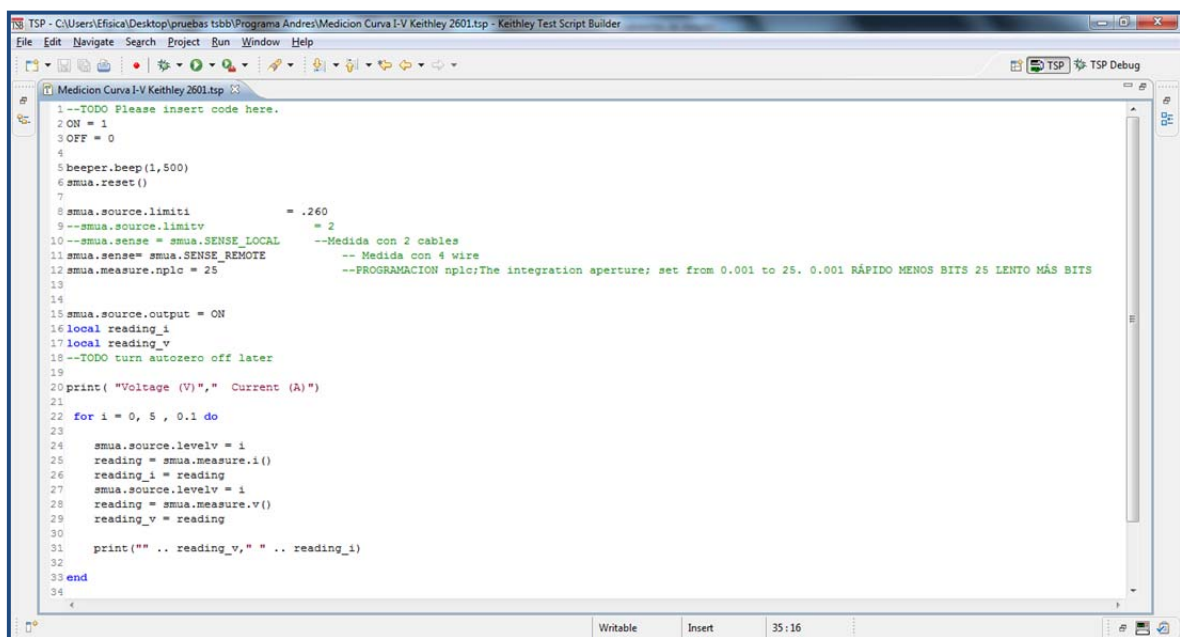


Ilustración 54: Programa diseñado en TSB para medición con equipo Keithley

A continuación se muestra el texto del programa escrito utilizando el software TSB de Keithley para la medición de las curvas I-V:

```

--TODO Please insert code here.
ON = 1
OFF = 0

beeper.beep(1,500)
    
```

```

smua.reset()

smua.source.limiti          = .260
--smua.source.limitv       = 2
--smua.sense = smua.SENSE_LOCAL      --Medida con 2 cables
smua.sense= smua.SENSE_REMOTE      --Medida con 4 cables
smua.measure.nplc = 25      --PROGRAMACION nplc;The
integration aperture; set from 0.001 to 25. 0.001

smua.source.output = ON
local reading_i
local reading_v
--TODO turn autozero off later

print( "Voltage (V)"," Current (A)")

for i = 0, 5 , 0.3do

    smua.source.levelv = i
    reading = smua.measure.i()
    reading_i = reading
    smua.source.levelv = i
    reading = smua.measure.v()
    reading_v = reading

    print(" " .. reading_v, " " .. reading_i)

end

--if reading < 10 then print("pass")end
display.clear()
display.setcursor (1,1)
display.settext ( "PFC Soundress")
smua.source.output = OFF

```

Como se puede observar en el mismo el programa está diseñado para la realización de mediciones de curvas I-V. Establece un barrido de mediciones de 0 a 5 Voltios con variaciones de 0,3 V entre medición y medición obteniendo la corriente que circula por la célula para esa determinada corriente.

6.3. Conexionado de elementos

Para el conexionado de elementos se utiliza el bus trasero del equipamiento Keithley que dispone de múltiples salidas. Para la medición de la curva I-V se utilizara una conexión de dos hilos que conectara directamente el bus trasero del equipamiento Keithley con la célula solar.

6.4. Obtención de mediciones

Una vez configurado el equipamiento, arrancado el programa y conexiónados los elementos comenzamos con la realización de mediciones a través del programa TSB.

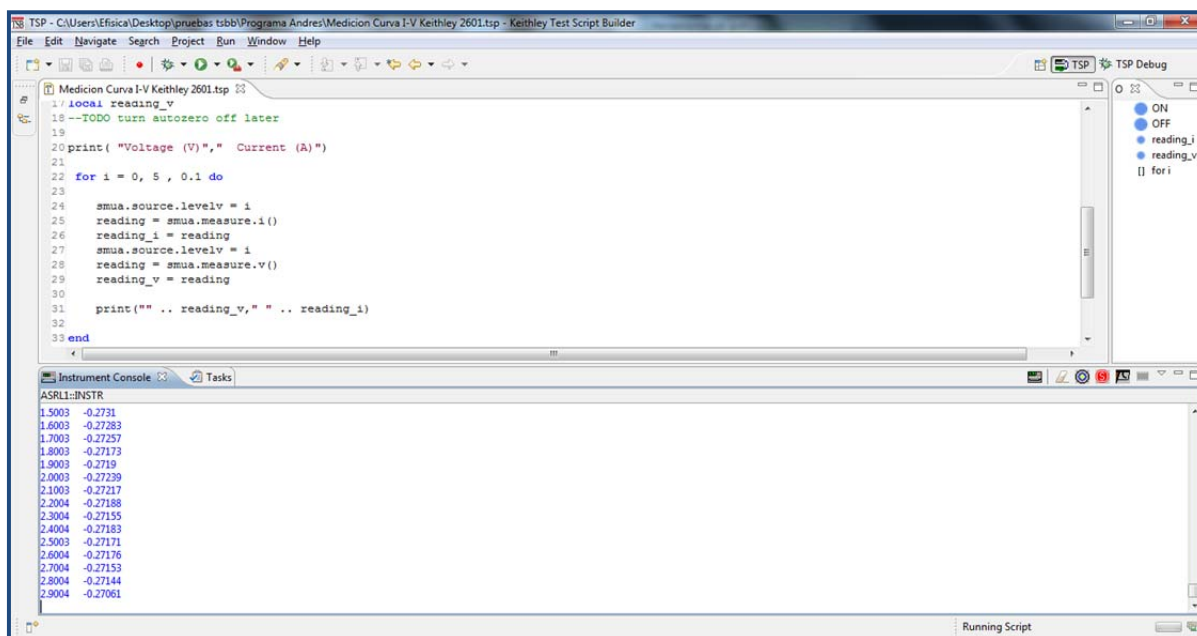


Ilustración 55: Obtención de mediciones con TSB

De nuevo para la realización de la mediciones se implementa el mismo banco de pruebas con las tres células del mismo fabricante sometidas a diferentes situaciones de ensayo.

Para que la comparativa de los resultados sea la misma las mediciones se realizan bajo las mismas condiciones, estando las tres células sometidas a las misma condiciones de temperatura y radiación que durante la realización de las mediciones con el equipamiento MyDAQ.

A continuación se muestran las gráficas y las tablas de mediciones de las células medidas:

6.4.1. Medición Célula Ventilada

A continuación se muestra la gráfica I-V de la célula ventilada medida a través del equipamiento de laboratorio Keithley 2601:

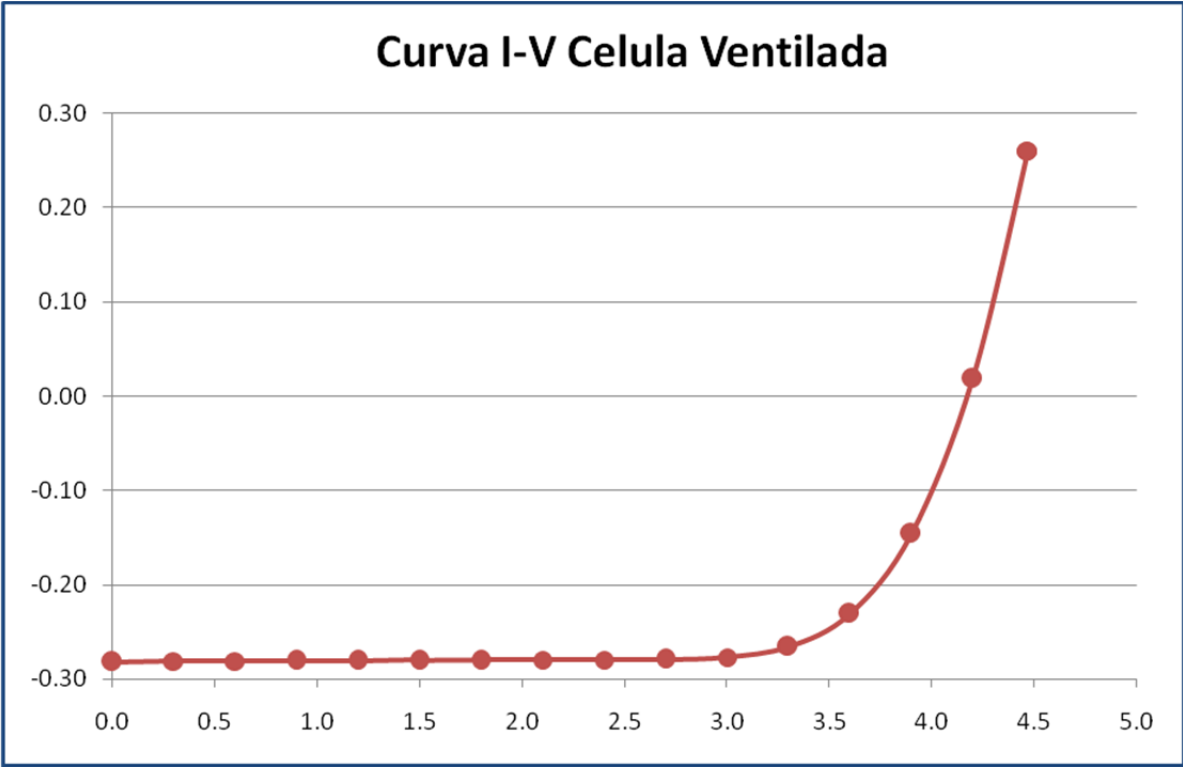


Ilustración 56: Curva I-V Célula Ventilada medida con Keithley 2601

Los valores de corriente y tensión de la célula ventilada que generan la curva anterior se muestran en la siguiente tabla:

Valores Curva I-V Célula Ventilada Keithley 2601		
Medida	Corriente (A)	Tensión (V)
1	-0,28187	0,00001
2	-0,28124	0,30009
3	-0,28097	0,60010
4	-0,2806	0,90009

5	-0,28039	1,20020
6	-0,28011	1,50030
7	-0,28005	1,80030
8	-0,2796	2,10030
9	-0,27969	2,40040
10	-0,27944	2,70040
11	-0,27679	3,00040
12	-0,26541	3,30040
13	-0,23062	3,60050
14	-0,14598	3,90050
15	0,018865	4,20040
16	0,26004	4,46950
17	0,26003	4,46850

Tabla 18: Valores Curva I-V Célula Ventilada medida con Keithley 2601

6.4.2. Medición Célula Temperatura Ambiente:

A continuación se muestra la gráfica I-V de la célula que se encuentra a temperatura ambiente medida a través del equipamiento de laboratorio Keithley 2601:

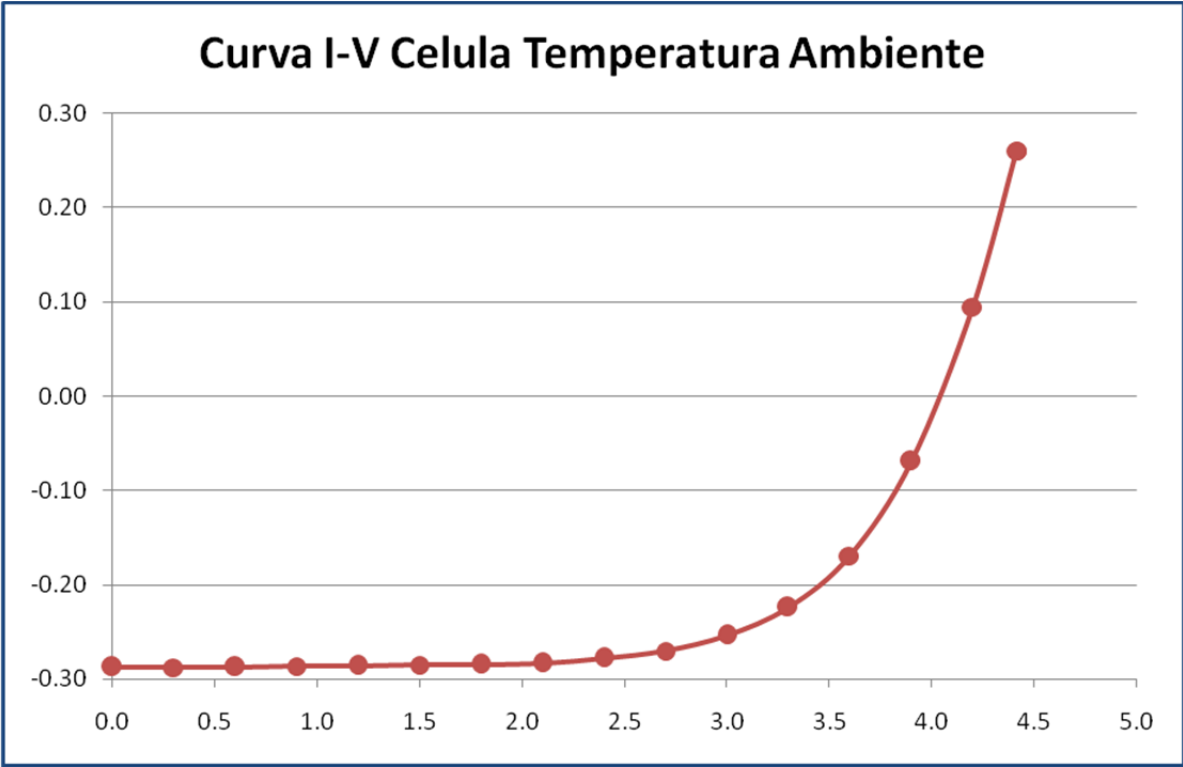


Ilustración 57: Curva I-V Célula a Temperatura Ambiente medida con Keithley 2601

Los valores de corriente y tensión de la célula a temperatura ambiente que genera la curva anterior se muestran en la siguiente tabla:

Valores Curva I-V Célula Temperatura Ambiente Keithley 2601		
Medida	Corriente (A)	Tensión (V)
1	-0,28729	0,00000
2	-0,28767	0,30009
3	-0,2872	0,60010
4	-0,28666	0,90009

5	-0,28575	1,20020
6	-0,28485	1,50030
7	-0,28461	1,80030
8	-0,28309	2,10030
9	-0,27791	2,40040
10	-0,27004	2,70040
11	-0,25351	3,00040
12	-0,22376	3,30040
13	-0,16943	3,60040
14	-0,069159	3,90040
15	0,09484	4,20040
16	0,26003	4,41740
17	0,26002	4,41680

Tabla 19: Valores Curva I-V Célula Ventilada medida con Keithley 2601

6.4.3. Medición Célula Temperatura Sobrecalentada:

A continuación se muestra la gráfica I-V de la célula que se encuentra siendo sobrecalentada a través de una resistencia conectada por una placa de cobre a la misma, medida a través del equipamiento de laboratorio Keithley 2601:

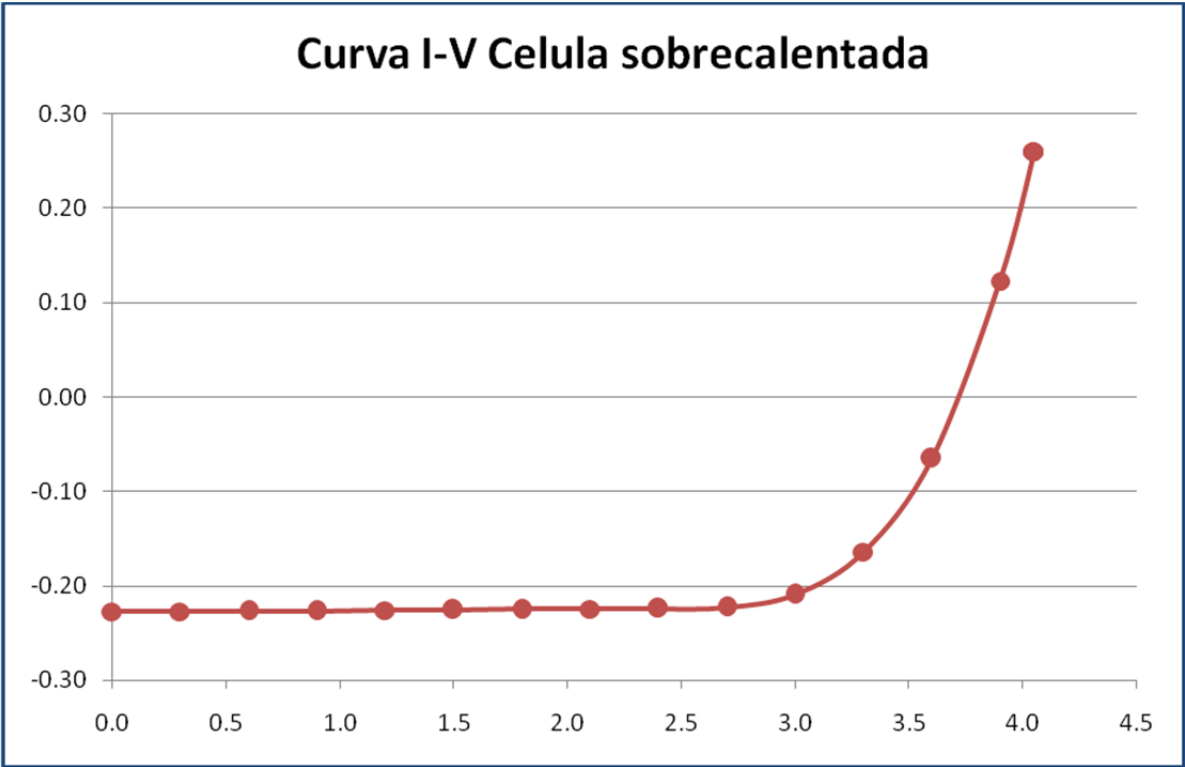


Ilustración 58: Curva I-V Célula sobrecalentada medida con Keithley 2601

Los valores de corriente y tensión de la célula a temperatura ambiente que generan la curva anterior se muestran en la siguiente tabla:

Valores Curva I-V Célula sobrecalentada Keithley 2601		
Medida	Corriente (A)	Tensión (V)
1	-0,22723	0,00000
2	-0,22715	0,30009

3	-0,22692	0,60010
4	-0,22638	0,90009
5	-0,2259	1,20020
6	-0,2254	1,50030
7	-0,22484	1,80030
8	-0,22443	2,10030
9	-0,22397	2,40040
10	-0,22246	2,70040
11	-0,20891	3,00040
12	-0,16402	3,30040
13	-0,064688	3,60040
14	0,12275	3,90040
15	0,26006	4,05180
16	0,26006	4,05080
17	0,26005	4,05020

Tabla 20: Valores Curva I-V Célula Sobrecalentada medida con Keithley 2601

7. COMPARATIVA Y VALIDACION DE MEDICIONES

Una vez realizadas todas las mediciones con el equipamiento del laboratorio Keithley 2601 procedemos a realizar una comparativa entre los resultados obtenidos con el equipamiento de medición portátil NI MyDAQ y el equipamiento de laboratorio Keithley 2061.

La finalidad de esta comparativa es la validación de las mediciones realizadas por el equipamiento de medición portátil NI MyDAQ. Esta validación estará basada en la similitud de los resultados obtenidos comparando los resultados de las mediciones realizadas con el equipamiento de campo con las obtenidas del equipamiento de laboratorio, en donde se pretende que el equipamiento de campo ofrezca unos resultados relativamente cercanos a los resultados que nos ofrece el equipamiento de laboratorio teniendo en cuenta las limitaciones del equipamiento de campo.

A continuación se muestran las gráficas con las comparativas de las mediciones realizadas:

7.1.1. Comparativa mediciones Célula Ventilada

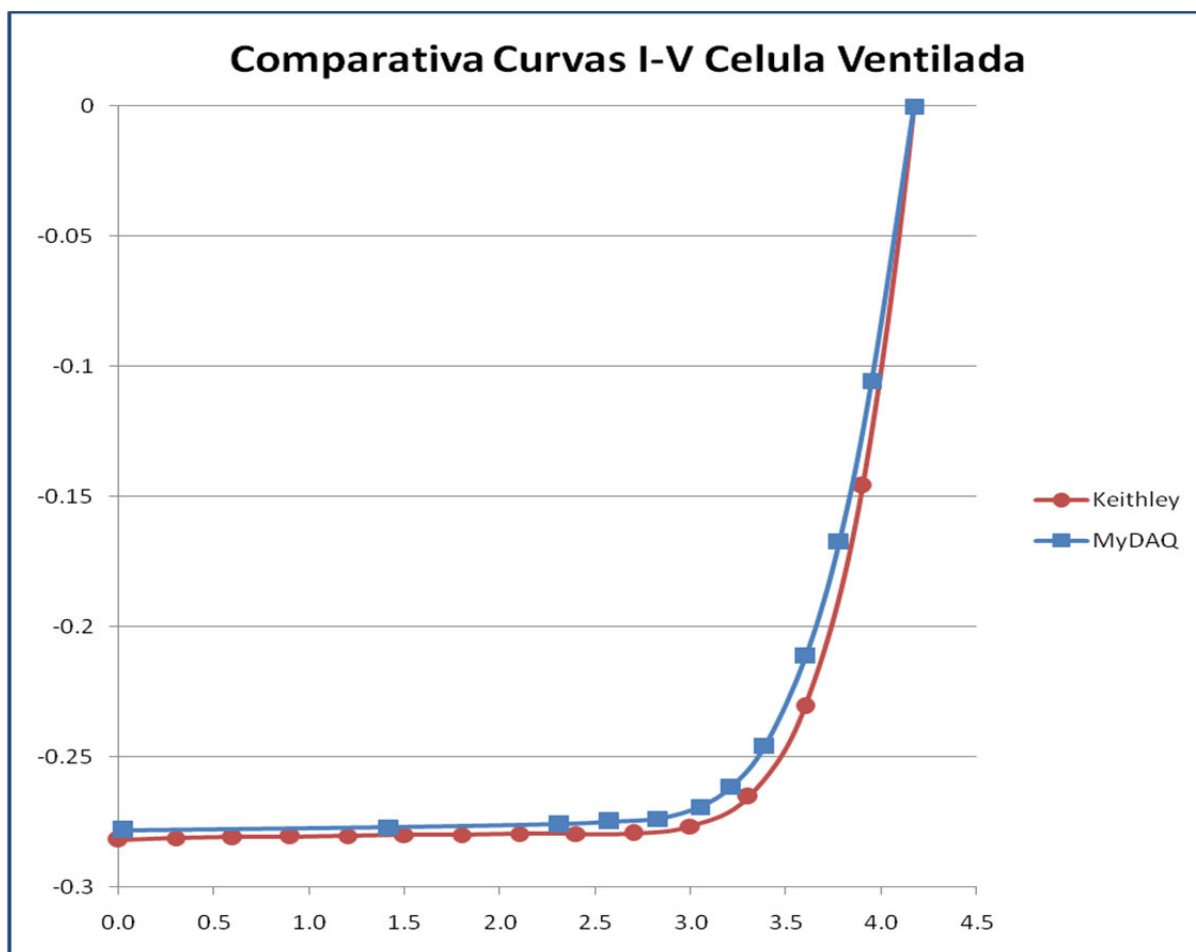


Ilustración 59: Comparativa Curvas I-V Célula Ventilada

Como se puede observar en la gráfica anterior las mediciones del equipamiento de medición de campo NI MyDAQ muestran valores prácticamente idénticos a las mediciones del equipamiento de laboratorio Keithley 2601 observándose que los valores de ambas curvas de los dos equipos prácticamente se superponen.

A continuación se expone una tabla con el porcentaje de error de medición del equipamiento NI MyDAQ respecto al equipamiento Keithley 2601:

Comparativa curvas I-V célula ventilada			
<i>Equipo de Medida</i>	<i>I_{cc} (A)</i>	<i>V_{ca} (V)</i>	<i>PMP (W)</i>

Sistema Portátil NI MyDAQ	<i>-0,278228</i>	<i>4,17118</i>	<i>-0,875959164</i>
Sistema Laboratorio Keithley 2601	<i>-0,281870</i>	<i>4,20040</i>	<i>-0,84029259</i>
Error en %	<i>-1,29 %</i>	<i>-0,69 %</i>	<i>-4,24 %</i>

Tabla 21: Comparativa curvas I-V Célula Ventilada

Como se puede observar en la tabla anterior el error del equipamiento MyDAQ medido en tanto por ciento y tomando como referencia el equipamiento Keithley 2601 es muy bajo e incluso inferior al 5%.

7.1.2. Comparativa mediciones Célula a Temperatura Ambiente

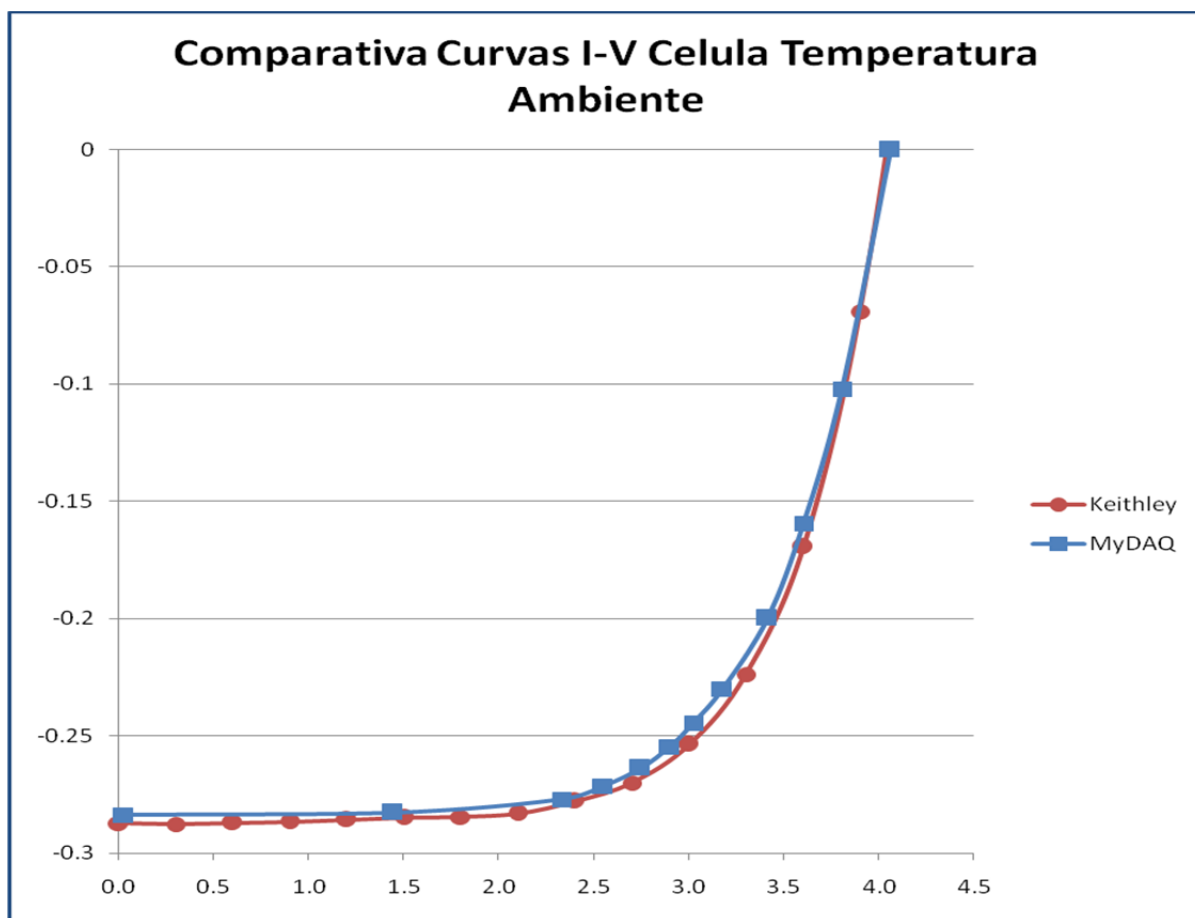


Ilustración 60: Comparativa Curva I-V Célula Temperatura a Ambiente

De nuevo como se puede observar en la gráfica anterior que las mediciones del equipamiento de medición de campo NI MyDAQ muestran valores prácticamente idénticos a las mediciones del equipamiento de laboratorio Keithley 2601 observándose que los valores de ambas curvas de los dos equipos prácticamente se superponen.

A continuación se expone una tabla con el porcentaje de error de medición del equipamiento NI MyDAQ respecto al equipamiento Keithley 2601:

Comparativa curvas I-V célula temperatura ambiente			
<i>Equipo de Medida</i>	<i>I_{cc} (A)</i>	<i>V_{ca} (V)</i>	<i>PMP (W)</i>

Sistema Portátil NI MyDAQ	<i>-0,287197</i>	<i>3,97958</i>	<i>0,7274</i>
Sistema Laboratorio Keithley 2601	<i>-0,28729</i>	<i>3,9004</i>	<i>0,76063</i>
Error en %	-0,03 %	-2,03 %	-4,36 %

Tabla 22: Comparativa curvas I-V Célula Temperatura Ambiente

Como se puede observar en la tabla anterior el error del equipamiento MyDAQ medido en tanto por ciento y tomando como referencia el equipamiento Keithley 2601 es muy bajo e incluso inferior al 5%.

7.1.3. Comparativa mediciones sobre Célula Sobrecalentada

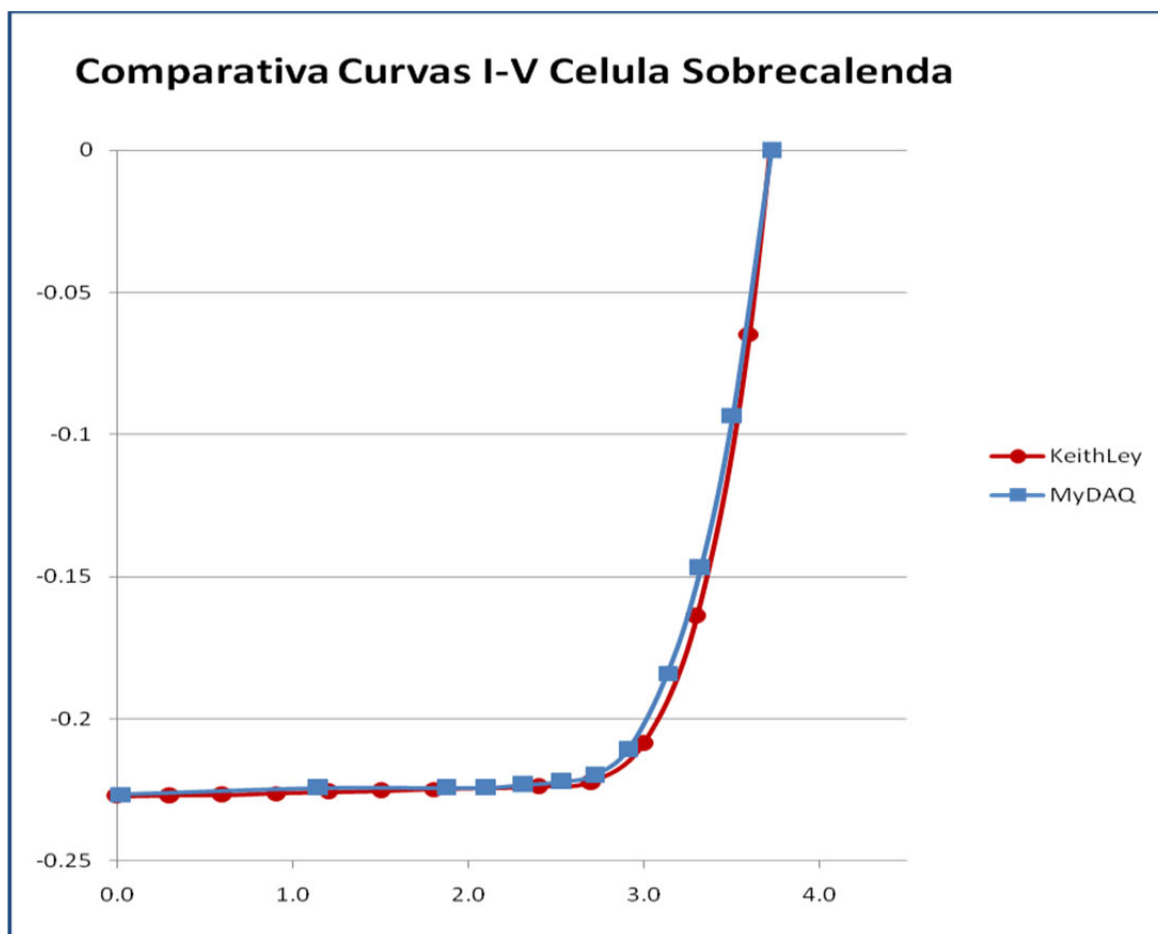


Ilustración 61: Comparativa Curvas I-V Celula Sobrecalentada

Al igual que en las dos mediciones anteriores se puede constatar, según la gráfica anterior, que las mediciones del equipamiento de medición de campo NI MyDAQ muestran valores prácticamente idénticos a las mediciones del equipamiento de laboratorio Keithley 2601 observándose que los valores de ambas curvas de los dos equipos prácticamente se superponen.

A continuación se expone una tabla con el porcentaje de error de medición del equipamiento NI MyDAQ respecto al equipamiento Keithley 2601:

Comparativa curvas I-V célula sobrecalentada			
<i>Equipo de Medida</i>	<i>I_{cc} (A)</i>	<i>V_{ca} (V)</i>	<i>PMP (W)</i>

Sistema Portátil NI MyDAQ	<i>-0,22666</i>	<i>3,72986</i>	<i>-0,61419</i>
Sistema Laboratorio Keithley 2601	<i>-0,22723</i>	<i>3,60040</i>	<i>-0,62681356</i>
Error en %	-0,25 %	-3,59 %	-2,01 %

Tabla 23: Comparativa curvas I-V Célula Sobrecalentada

Como se puede observar en la tabla anterior el error del equipamiento MyDAQ medido en tanto por ciento y tomando como referencia el equipamiento Keithley 2601 es muy bajo e incluso inferior al 5%.

7.1.4. Conclusiones de la comparación de medidas.

Se han realizado varias medidas de comparación entre el equipo de instrumentación de laboratorio y el sistema portátil de medida y como se puede observar en las gráficas y en las tablas, las figuras casi se superponen y la diferencia entre las medidas de ambos sistemas es muy pequeña e inferior al 5% en todos los casos.

Pero más importante que la limitada cuantificación del error, que aun así es muy pequeña, es que la medida con el sistema portátil tiene un desplazamiento idéntico para los tres mini módulos medidos, a pesar de tener tres iluminaciones diferentes con condiciones de temperatura del cada panel diferente, lo que corrobora la repetitividad de la medida, y por tanto su utilidad para nuestro propósito en campo.

7.1.5. Comparativa mediciones sobre Célula Sobrecalentada en dos instantes del ensayo de envejecimiento.

Como prueba añadida de que la instrumentación de medición diseñada es eficaz, se ha procedido a evaluar la evolución de degradación de una célula, concretamente la célula que estaba siendo sobrecalentada, generándose unas gráficas superpuestas de dos momentos del ensayo en las que se puede observar envejecimiento prematuro de esta célula.

A continuación podemos observar la medición de la curva I-V de la célula sobrecalentada realizada con el equipamiento MyDAQ el día 16/12/2013:

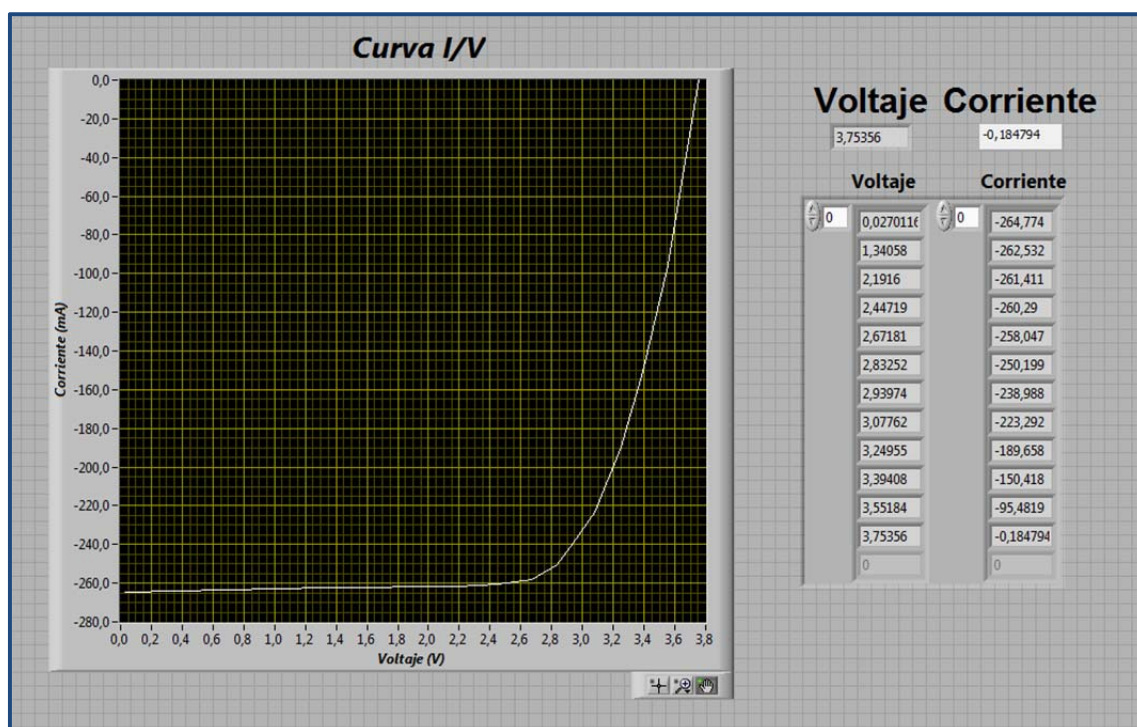


Ilustración 62: Medición célula sobrecalentada realizada con fecha 16/12/2013

En la curva anterior se puede observar que la corriente de cortocircuito tenía un valor de -264,774 mA el día de esa medición.

A continuación se muestra la medición realizada con el equipamiento MyDAQ el día 20/01/2014 de la misma célula sobrecalentada y bajo las mismas condiciones:

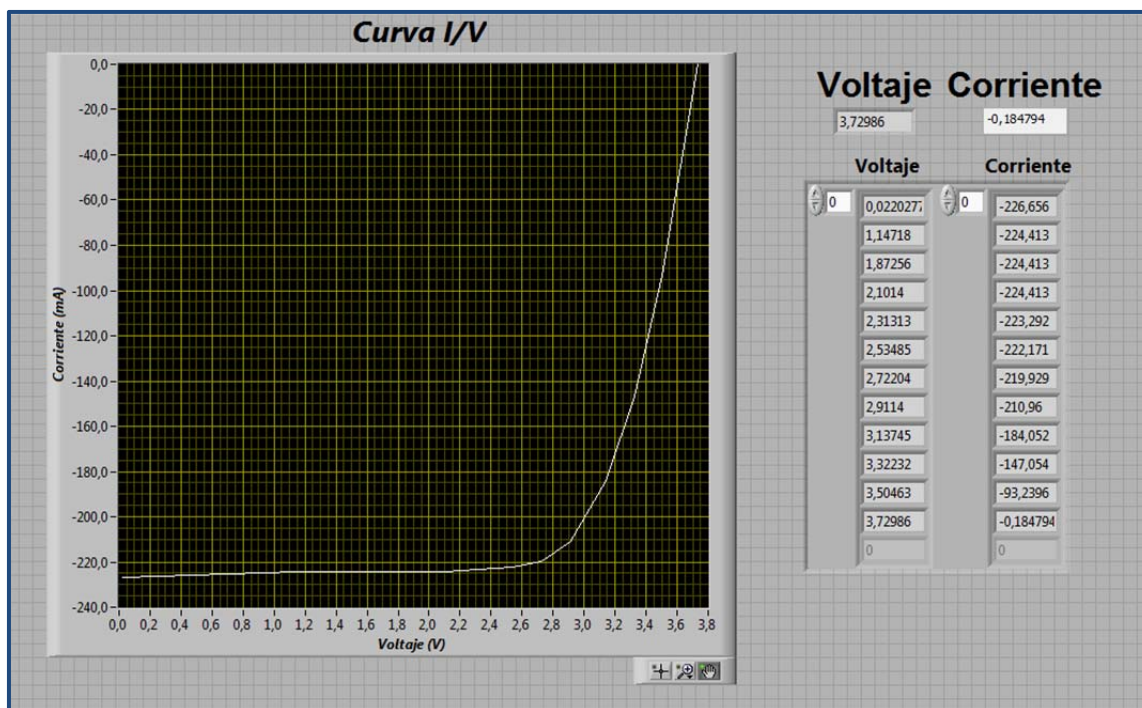


Ilustración 63: Medición célula sobrecalentada realizada con fecha 20/01/2014

Como se puede observar la corriente de cortocircuito en la curva anterior tenía un valor de -226,656 mA el día de esa medición.

Si introducimos una comparativa de los resultados en una gráfica se observa claramente que la célula ha sufrido una degradación significativa:

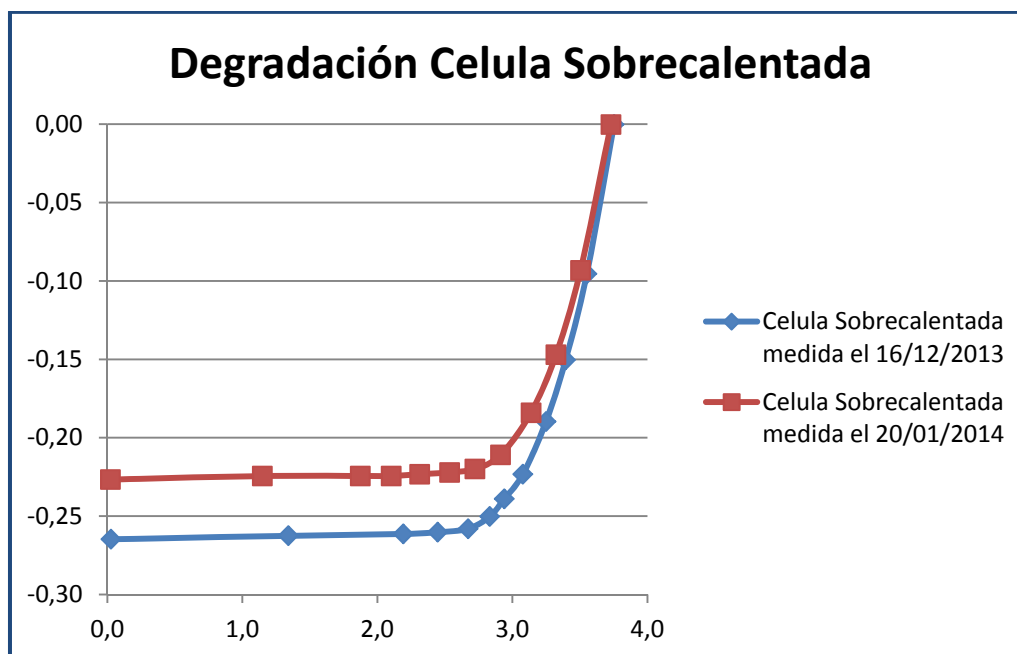


Tabla 24: Comparativa degradación célula sobrecalentada

Como se puede observar en la comparativa se ha reducido significativamente la corriente de cortocircuito y el punto de máxima potencia debido a la degradación que ha sufrido la célula al estar expuesta en condiciones de sobrecalentamiento.

8. CONCLUSIONES

Durante la realización de este PFC hemos desarrollado un sistema portátil de medida, pequeño y portátil, que sólo requiere para alimentarlo que el PC portátil tenga la batería cargada para realizar las medidas en campo.

De las comparativas realizadas podemos obtener la conclusión de que el equipamiento diseñado cumple con la principal premisa que es la obtención de mediciones fiables para la caracterización de células o mini-módulos fotovoltaicos mediante la realización de curvas I-V.

Se ha conseguido cumplir con el objetivo principal de diseño, de desarrollar e implementar un equipo de mediciones portátiles confiables, de pequeño tamaño y peso pero además que sea compatible con todos los principales sistemas informáticos usados en la actualidad gracias a que el software de control y toma de mediciones está disponible para todas las plataformas informáticas como son Windows, Mac y Linux y también debido a que su conectividad con el ordenador portátil se realiza mediante puerto USB del que disponen en sus conexiones todos los portátiles del mercado.

Por otro lado se cumple el objetivo secundario de implementar un sistema de bajo coste, que aunque debe ser específico en sus resistencias de carga para cada célula o mini módulo al que se aplica, permite tener una considerable precisión y una elevada repetitividad en las medidas, por lo que puede ser muy útil como sistema portátil de mediciones de bajo coste.

9. PRESUPUESTO

A continuación se indica el presupuesto de coste del material, para la implementación de un sistema portátil de medida de dispositivos sometidos a ensayos en campo como el empleado en este proyecto fin de carrera:

Presupuesto sistema portátil de medición			
<i>Equipamiento</i>	<i>Precio Unitario</i>	<i>Unidades</i>	<i>Precio Total</i>
<i>NI MyDAQ</i>	<i>1100,00 €</i>	<i>1</i>	<i>1100,00 €</i>
<i>Software Labview</i>	<i>2630,00 €</i>	<i>1</i>	<i>2630,00 €</i>
<i>Mini-panel solar</i>	<i>25,00 €</i>	<i>4</i>	<i>100,00 €</i>
<i>Carga Variable</i>	<i>30,00 €</i>	<i>1</i>	<i>30,00 €</i>
<i>Sondas de cableado</i>	<i>7,45 €</i>	<i>8</i>	<i>59,60 €</i>
<i>Horas de trabajo</i>	<i>20 €</i>	<i>150</i>	<i>3000,00 €</i>
<i>TOTAL *</i>			<i>6919,60 €</i>

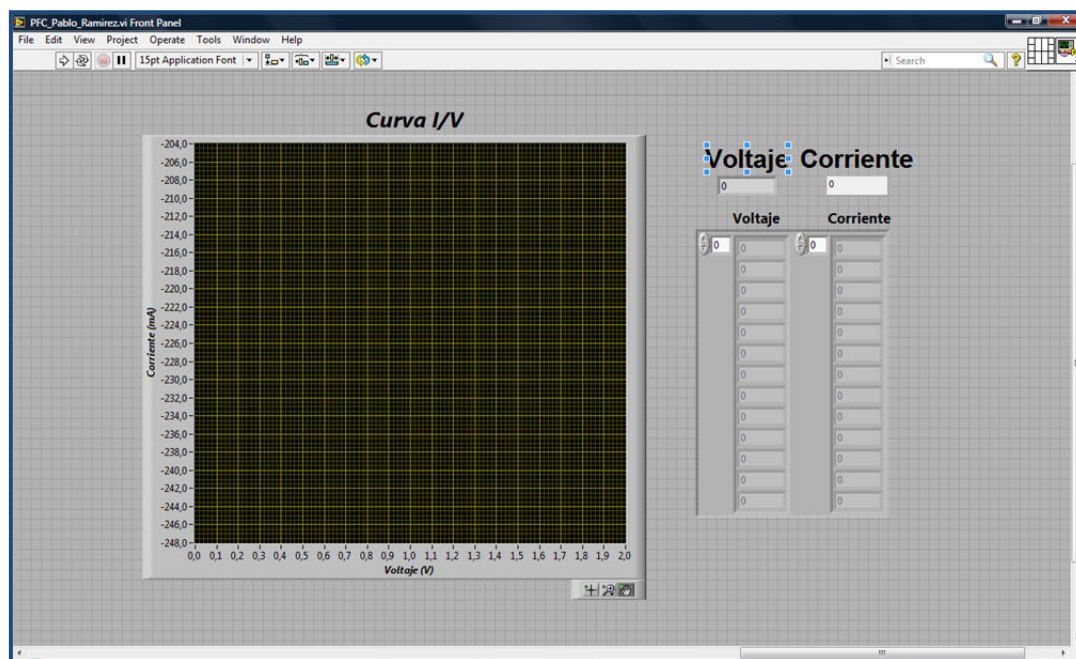
Tabla 25: Presupuesto sistema portátil de medición

*Se indican únicamente los costes para la implementación de un dispositivo.

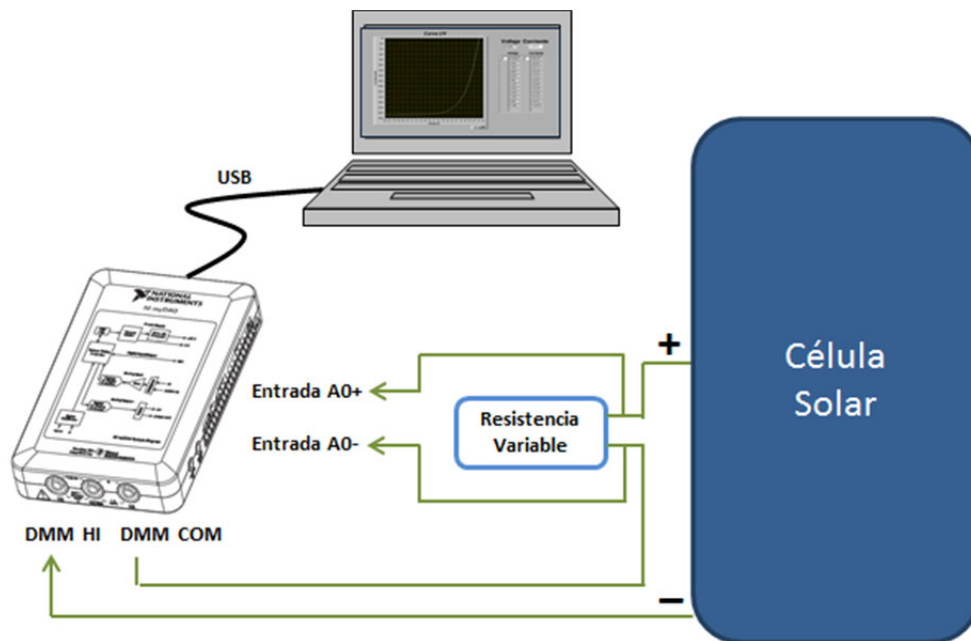
10. MANUAL DE USUARIO

A continuación se indica el manual de usuario para la utilización del equipamiento en la medida de dispositivos sometidos a ensayos en campo:

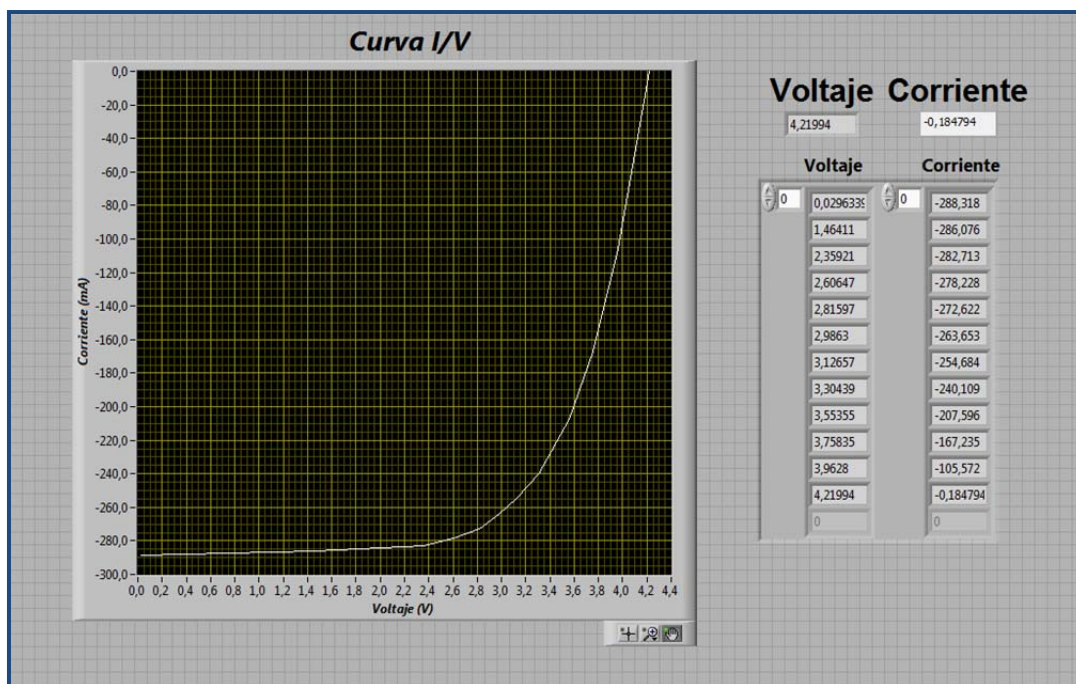
1. En un ordenador personal con software Labview instalado ejecutar el programa "Medición Curva I-V":



2. Realizar el conexionado del equipamiento según se indica en la figura siguiente:



- Una vez conexionados todos los elementos iniciamos el programa y vamos variando las posiciones de la carga variable según vaya indicando el programa hasta obtener la curva I-V del panel fotovoltaico seleccionado.



- Al finalizar la medición el programa generara una gráfica con la curva I-V y un fichero en extensión Excel, con los valores de tensión y corriente, que permitirá su posterior lectura.

11. BIBLIOGRAFIA

A continuación se indica la bibliografía utilizada para la realización de este PFC:

INTRODUCCION A LABVIEW

-**Título del libro:** Introducción a Labview.

- **Autores:** Mariano Ruiz González y Guillermo de Arcas Castro.

-**Editorial:** Departamento de Publicaciones EUITT.

-**Fecha de publicación:** Madrid 2011.

NI USER GUIDE AND SPECIFICATIONSNI MyDAQ

-**Título de la publicación:** User Guide and specifications Ni MyDAQ.

- **Autor:** National Instruments Corporation.

-**Editorial:** National Instruments Corporation.

-**Fecha de publicación:** Diciembre 2011.

KEITHLEY 2061 SYSTEM SOURCEMETER SPECIFICATIONS

Título de la publicación: Keithley 2601 System SourceMeter Specifications.

- **Autor:** Keithley Instruments, Inc.

-**Editorial:** Keithley Instruments, Inc.

-**Fecha de publicación:** Agosto 2011.

